



# 4

Docket No. 520.40591X00

## IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): OHTOMO, et al  
Serial No.: 09/943,507  
Filed: August 23, 2001  
Title: THIN FILM HEAD, PRODUCING METHOD THEREOF  
AND MAGNETIC DISK APPARATUS

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

November 9, 2001

Sir:


Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the  
applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on:

Japanese Patent Application No. 2000-188803  
Filed: June 23, 2000

A certified copy of said Japanese Patent Application is  
attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT &amp; KRAUS, LLP

  
\_\_\_\_\_  
Alan E. Schiavelli  
Registration No. 32,087

AES/gfa  
Attachment



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 7月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-224601

出 願 人

Applicant(s):

株式会社日立製作所

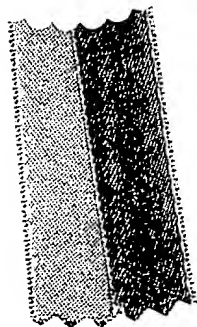


CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2001年 8月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3076163

【書類名】 特許願

【整理番号】 NT01P0042

【提出日】 平成13年 7月25日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

    【氏名】 大友 茂一

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 府山 盛明

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 芳田 伸雄

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

    【氏名】 福井 宏

【特許出願人】

    【識別番号】 000005108

    【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

    【識別番号】 100068504

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 小川 勝男

    【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100086656

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100094352

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐々木 孝

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法、ならびに磁気ディスク装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に形成された磁気シールド層および再生素子からなる再生部と、下部磁極、上部磁極、コイル、および非磁性絶縁層からなる記録部とを複合した薄膜磁気ヘッドにおいて、上記下部磁極は下部磁極主層と下部磁極先端部と下部磁極後端部からなり、上記上部磁極は先端部が下部磁極先端部と記録ギャップ層を介して相対向し後端部が下部磁極後端部と磁氣的に結合してなり、上記コイルは下部磁極主層と上部磁極の間に配置されてなり、上記非磁性絶縁層はコイルと下部磁極主層および上部磁極との間を充填してなり、該下部磁極先端部は、そのトラック幅方向の幅が下部磁極主層の幅より小さく、かつ、その上部磁極側に、浮上面における幅がトラック幅とほぼ同一な突起段差部を有し、該上部磁極は上部磁極先端層、上部磁極後端層、および上部磁極上層からなり、さらに、前記下部磁極先端部のギャップ深さを規定する面が記録ギャップ面に対してほぼ垂直に形成されており、前記下部磁極先端部の媒体走行方向の高さが  $0.3\ \mu\text{m}$  以上  $2\ \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 2】

下部磁極先端部のトラック幅方向の幅が  $1\ \mu\text{m}$  以上  $30\ \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 3】

前記下部磁極先端部の上部磁極側の突起段差部以外の面が記録ギャップ面に対して少なくともひとつの傾斜角を持って傾斜していることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 2 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 4】

基板上に形成された磁気シールド層および再生素子からなる再生部と、下部磁極、上部磁極、コイル、および非磁性絶縁層からなる記録部とを複合した薄膜磁気ヘッドにおいて、上記下部磁極は下部磁極主層と下部磁極先端部と下部磁極後

端部からなり、上記上部磁極は先端部が下部磁極先端部と記録ギャップ層を介して相対向し後端部が下部磁極後端部と磁氣的に結合してなり、上記コイルは下部磁極主層と上部磁極の間に配置されてなり、上記非磁性絶縁層はコイルと下部磁極主層および上部磁極との間を充填してなり、該下部磁極先端部は、そのトラック幅方向の幅が下部磁極主層の幅より小さく、かつ、その上部磁極側に、浮上面における幅がトラック幅とほぼ同一であり、浮上面よりヘッド後部方向に離れた位置における幅が上部磁極の幅より大きい突起段差部を有し、さらに、前記下部磁極先端部の記録ギャップデプスを規定する面が記録ギャップ面に対してほぼ垂直に形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 5】

前記上部磁極先端層が浮上面から磁極広がり位置までトラック幅に相当する幅を有し、磁極広がり位置からヘッド後部方向に向かって幅が増加することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 6】

前記上部磁極先端層が複数の飽和磁束密度の異なる磁性層で構成され、記録ギャップ側の磁性層が記録ギャップより遠い側の磁性層より飽和磁束密度が高いことを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 7】

前記上部磁極先端層あるいは下部磁極先端部に使用する少なくとも一部の磁性材料の飽和磁束密度が下部磁極主層および上部磁極上層に使用する磁性材料の飽和磁束密度より高いことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 8】

下部磁極主層あるいは上部磁極上層に使用する磁性材料の比抵抗が上部磁極先端層あるいは下部磁極先端部に使用する磁性材料の比抵抗より高いことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 9】

下部磁極先端部が下部磁極主層上にフレイムメッキ法により作成されることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法

## 【請求項 1 0】

磁気記録媒体とそれを駆動するモーター、磁気記録媒体に記録再生するための磁気ヘッド、磁気ヘッドの位置決めをする機構、これらを制御する回路系、および磁気ヘッドに記録信号を供給し、磁気ヘッドからの再生信号を処理する回路系等からなる磁気ディスク装置において、磁気ヘッドとして請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドを少なくとも 1 つ搭載し、前記磁気記録媒体の保磁力が  $279 \text{ kA/m}$  ( $3500 \text{ Oe}$ ) 以上であることを特徴とする磁気ディスク装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は磁気ディスク装置に使用される薄膜磁気ヘッド、特に高密度記録に適した高保磁力媒体用薄膜磁気ヘッド、およびその製造方法、ならびに磁気ディスク装置に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、磁気ディスク装置の記録密度の向上に伴って、記録媒体の性能向上とともに記録再生特性に優れた薄膜磁気ヘッドの開発が強く要求されている。現在、再生ヘッドとしては、高い再生出力を得ることができる MR（磁気抵抗効果）素子や GMR（巨大磁気抵抗効果）素子を用いたヘッドが使用されている。また、さらに高い再生感度の得られる TMR（トンネル磁気抵抗）素子も開発されている。一方、記録ヘッドには従来の電磁誘導を利用した誘導型の薄膜記録ヘッドが用いられており、以上の再生ヘッドと記録ヘッドを一体に形成した記録再生兼用型薄膜磁気ヘッドが用いられている。

## 【0003】

薄膜磁気ヘッドの記録特性を向上するためには、高保磁力の記録媒体を十分に記録するために強くかつ急峻な記録磁界を発生する必要がある。ところが、トラック密度向上に伴うトラック幅の減少により、薄膜磁気ヘッドの磁極先端部に磁

気飽和が生じ、記録磁界が低下する問題が発生する。また、トラック密度向上に対応するために狭小なトラック幅の加工精度向上も要求される。

## 【 0 0 0 4 】

従来の薄膜磁気ヘッドは例えば図 3 に示すように、非磁性材からなる基板 1 の上に、再生分解能を向上し外部磁界の影響を排除するための軟磁性材からなる下部磁気シールド 2 を設け、その上に非磁性絶縁材よりなる再生ギャップ 3 を設け、再生ギャップ中に MR または GMR 素子からなる再生素子 4 を配置する。この上に上部磁気シールドを兼用する軟磁性材料よりなる下部磁極 5 を設け、さらに記録ギャップ層 6 およびコイル絶縁層 7 を設け、コイル絶縁層中に下層コイル 8 および上層コイル 8' を配置する。なお、コイルは一層のみの場合もある。さらに高飽和磁束密度材からなる上部磁極 9 を設け、ヘッド全体を保護層 10 で保護する。上部磁極後端層 11 は絶縁層 7 のおよび記録ギャップ層 6 のスルーホールを通して下部磁極 5 と磁氣的に接触している。上部磁極先端層 12 の浮上面 13 における幅はトラック幅に相当する幅に加工されている。コイル 8、8' は上部磁極後端層を周回する如く構成する。

## 【 0 0 0 5 】

コイル 8、8' に記録電流を印加することにより、上部磁極 9 および下部磁極 5 に磁束を誘起し、記録ギャップ先端より発生する記録磁界により、浮上面 13 から微少距離離れて移動する記録媒体 14 に信号を記録する。記録ギャップ近傍には下部磁極および上部磁極より磁束が集中し、この結果高い記録磁界が発生する。上部磁極先端層が記録ギャップ層 6 と接触する長さをギャップ深さ  $G_d$  と称し、これを減少するほど磁束が磁極先端に集中するために記録磁界が増加する。

## 【 0 0 0 6 】

上部磁極 9 を形成する際には、コイル絶縁層 7 および記録ギャップ層 6 の上にフォトレジストを塗布し、所定の上部磁極の形状のマスクを通してフォトレジストを露光・現像して上部磁極の形状となるべき部分のフォトレジストを除去し、除去した部分にメッキ法により上部磁極となる高飽和磁束密度材料を形成する。従来の薄膜磁気ヘッドでは、前記のように、上部磁極を形成するためのフォトレジストをコイル絶縁層 7 の高くかつ急峻な斜面 15 上に形成するために、フォト



レジストの露光の際に斜面からの光の反射や焦点深度の不足によって、上部磁極の形状が精度よく形成できず、特に上部磁極先端層の狭トラック幅を形成する際に問題を生じた。

#### 【0007】

この点を解決する方法として、例えば特開2000-276707号明細書に記載されているように、上部磁極を上部磁極先端層、上部磁極後端層および上部磁極上層に分離する方法が提案されている。この方法では、図4に示すように、記録ギャップ層6を形成した後、ギャップデプスを規定するための第1の非磁性絶縁層16を設ける。この上に、上部磁極先端層17および上部磁極後端層18を形成するためのフォトレジストを形成し、露光・現像して上部磁極先端層17および上部磁極後端層18の形状となるべき部分を除去し、除去した部分にメッキ法により上部磁極先端層17および上部磁極後端層18となる高飽和磁束密度材料を形成する。さらに、上部磁極先端層17および上部磁極後端層18の間隙を第2の非磁性絶縁層19で埋め込み、上部磁極先端層17、上部磁極後端層18および第2の非磁性絶縁層19を研磨により平坦化し、この上に、コイル絶縁層7、下層コイル8、上層コイル8'、上部磁極上層20、保護層10を形成する。この方法では、上部磁極先端層17を形成するフォトレジストが、図3に示した従来例のコイル絶縁層の斜面15に比較して段差の小さい第1の非磁性絶縁層16上に形成されるために、下地からの光の反射や焦点深度の不足の問題が解消され、狭トラック幅加工精度が向上するという利点を有する。

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この図4に示す薄膜磁気ヘッドでも、第1の非磁性絶縁層16の段差の上に上部磁極先端層17を形成するために、近年要求されている0.4  $\mu\text{m}$ 以下という極めて狭いトラック幅を高精度に形成することは困難になっている。

#### 【0009】

また、狭トラック化および媒体の高保磁力化が進むとともに、記録ヘッドに要求される記録磁界もますます高まっている。

## 【0010】

本発明はこれらの困難を解決し、高密度記録再生を可能とする薄膜磁気ヘッド及びその製造方法、並びにかかる薄膜磁気ヘッドを用いた磁気ディスク装置を提供することを目的とする。

## 【0011】

## 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明においては、基板上に形成された磁気シールド層および再生素子からなる再生部と、下部磁極、上部磁極、コイル、および非磁性絶縁層からなる記録部とを複合した薄膜磁気ヘッドにおいて、上記下部磁極は下部磁極主層と下部磁極先端部と下部磁極後端部からなり、上記上部磁極は先端部が下部磁極先端部と記録ギャップ層を介して相対向し後端部が下部磁極後端部と磁氣的に結合してなり、上記コイルは下部磁極主層と上部磁極の間に配置されてなり、上記非磁性絶縁層はコイルと下部磁極主層および上部磁極との間を充填してなり、該下部磁極先端部は、そのトラック幅方向の幅が下部磁極主層の幅より小さく、かつ、その上部磁極側に、浮上面における幅がトラック幅とほぼ同一な突起段差部を有し、上部磁極は上部磁極先端層、上部磁極後端層、および上部磁極上層からなり、さらに、前記下部磁極先端部のギャップ深さを規定する面が記録ギャップ面に対してほぼ垂直に形成されており、前記下部磁極先端部の媒体走行方向の高さが $0.3\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であるようにした。

## 【0012】

又、前記下部磁極先端部のトラック幅方向の幅は $1\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

## 【0013】

さらに、前記下部磁極先端部の上部磁極側の突起段差部以外の面が記録ギャップ面に対して少なくともひとつの傾斜角を持って傾斜するようにした。

## 【0014】

また、前記下部磁極先端部は、そのトラック幅方向の幅が下部磁極主層の幅より小さく、かつ、その上部磁極側に、浮上面における幅がトラック幅とほぼ同一であり、浮上面よりヘッド後部方向に離れた位置における幅が上部磁極の幅より

大きい突起段差部を有し、さらに、前記下部磁極先端部の記録ギャップ深さを規定する面が記録ギャップ面に対してほぼ垂直に形成するようにした。

## 【 0 0 1 5 】

さらに、前記上部磁極先端層が浮上面から磁極広がり位置までトラック幅に相当する幅を有し、磁極広がり位置からヘッド後部方向に向かって幅が増加するようにした。

## 【 0 0 1 6 】

また、前記上部磁極先端層が複数の飽和磁束密度の異なる磁性層で構成され、記録ギャップ側の磁性層が記録ギャップより遠い側の磁性層より飽和磁束密度が高くなるようにした。

## 【 0 0 1 7 】

さらに、前記上部磁極先端層あるいは下部磁極先端部に使用する少なくとも一部の磁性材料の飽和磁束密度が下部磁極主層および上部磁極上層に使用する磁性材料の飽和磁束密度より高いことが望ましい。

## 【 0 0 1 8 】

また、下部磁極主層あるいは上部磁極上層に使用する磁性材料の比抵抗が上部磁極先端層あるいは上層先端下部磁極に使用する磁性材料の比抵抗より高いことが望ましい。

## 【 0 0 1 9 】

さらに、下部磁極先端部は下部磁極主層上にフレームメッキ法により作成した

## 【 0 0 2 0 】

また、磁気記録媒体とそれを駆動するモーター、磁気記録媒体に記録再生するための磁気ヘッド、磁気ヘッドの位置決めをする機構、これらを制御する回路系、および磁気ヘッドに記録信号を供給し、磁気ヘッドからの再生信号を処理する回路系等からなる磁気ディスク装置において、磁気ヘッドとして上記の薄膜磁気ヘッドを少なくとも1つ搭載し、かつ保磁力が  $279 \text{ kA/m}$  ( $3500 \text{ Oe}$ ) 以上の磁気記録媒体を用いた。

## 【 0 0 2 1 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明を実施例により詳細に説明する。

## 【0022】

## &lt;実施例1&gt;

本発明の薄膜磁気ヘッドの断面図を図2に示す。非磁性材からなる基板1の上に、再生分解能を向上し外部磁界の影響を排除するための軟磁性材からなる下部磁気シールド2を設け、その上に非磁性絶縁材よりなる再生ギャップ3を設け、再生ギャップ中にMRまたはGMR素子からなる再生素子4を配置する。この上に上部磁気シールド21を設け、さらに、記録ヘッドと再生ヘッドを分離する非磁性材からなるセパレート層22を設ける。この上に下部磁極主層5を設け、さらに下部磁極先端部23、下部磁極後端部24を設ける。下部磁極先端部23と下部磁極後端部24の間には非磁性絶縁層25を充填する。

## 【0023】

さらに、下部磁極先端部23、下部磁極後端部24および非磁性絶縁層25を研磨により平坦化し、この上に記録ギャップ層6を設け、さらに上部磁極先端層17、上部磁極後端層18を設ける。さらに、第2の非磁性絶縁層19および下層コイル8'を設ける。この上部磁極先端層17、上部磁極後端層18および第2の非磁性絶縁層19の面を研磨によって平坦化し、この上に、コイル絶縁層7、上層コイル8'を配置する。さらに上部磁極上層20を設け、ヘッド全体を保護層10で保護する。上部磁極上層の先端は浮上面より後退させて配置する。

## 【0024】

上部磁極上層の後端層26および上部磁極後端層18は下部磁極後端部24と磁氣的に接続している。下層コイル8、上層コイル8'は上部磁極後端層18および上部磁極上層の後端層26を周回する如く構成する。下層コイル8および上層コイル8'に記録電流を印加することにより、上部磁極先端層17、上部磁極上層20、上部磁極後端層18、下部磁極後端部24、下部磁極主層5および下部磁極先端部23に磁束を誘起し、記録ギャップ先端より発生する記録磁界により、浮上面13から微少距離離れて移動する記録媒体14に信号を記録する。

## 【0025】

なお、本実施例では、上部磁気シールド 2 1 と下部磁極主層 5 がセパレート層 2 2 で分離された構造を示したが、図 3 および図 4 の従来例のように、下部磁極主層が上部磁気シールドを兼ねる構成としてもよい。記録ギャップ深さは下部磁極先端部の深さで規定されており、ここにおいて、記録ギャップ深さを規定する下部磁極先端部の面は記録ギャップ面に対してほぼ垂直に形成されている。

## 【 0 0 2 6 】

本発明の薄膜磁気ヘッドのヘッド先端近傍の構造を図 1 の斜視図に示す。なお、本図では下部磁極主層 5、下部磁極先端部 2 3、上部磁極先端層 1 7 および上部磁極上層 2 0 の一部のみを示している。図のように、本発明の薄膜磁気ヘッドにおいては、下部磁極先端部 2 3 は下部磁極 5 より小さい幅  $L_{p2w}$  を有し、ギャップ深さ  $G_d$  に相当する長さ（深さ）、および高さ  $L_{p2h}$  を有する。また、記録ギャップを挟んで上部磁極と対向する部分は上部磁極のトラック幅  $T_w$  とほぼ同一幅の突起段差部 2 7 を有する。突起段差部の高さをトリム深さ  $T_r$  と称する。

## 【 0 0 2 7 】

上部磁極先端層 1 7 はヘッド後部方向に磁極広がり位置  $L_y$  までトラック幅とほぼ同一の幅を有し、磁極広がり位置  $L_y$  よりヘッド後部方向に向かって開き角  $\theta$  で最大幅  $U_{p1w}$  まで幅が増加する。上部磁極先端層 1 7 の長さは  $U_{p1L}$ 、厚さは  $U_{p1t}$  である。上部磁極上層 2 0 の先端は浮上面から上部磁極深さ  $U_{p2d}$  離れており、上部磁極先端の幅  $U_{p2fw}$ 、厚さ  $U_{p2t}$  を有する。また上部磁極上層 2 0 も、絞り位置  $U_{p2Ly}$  よりヘッド後部方向に向かって開き角  $\phi$  で上部磁極幅  $U_{p2w}$  まで増加する形状を有する。また、上部磁極上層立ち上がり位置  $U_{p2s}$  まで上部磁極上層 2 0 は平坦であり、 $U_{p2s}$  より上部磁極上層 2 0 はコイル絶縁層の斜面 1 5 の上に形成される。

## 【 0 0 2 8 】

上記の構造を有する本発明の薄膜磁気ヘッドについて、計算機シミュレーションにより磁界計算を行い、図 4 に示す従来の薄膜磁気ヘッドと記録磁界強度を比較した。本発明の薄膜磁気ヘッドの寸法を、トラック幅  $T_w = 0.35 \mu m$ 、ギャップ長  $G_l = 0.13 \mu m$ 、 $G_d = 1 \mu m$ 、 $L_{p2w} = 8 \mu m$ 、 $T_r = 0.2$

$\mu\text{m}$ 、 $L_y = 0.8\mu\text{m}$ 、 $U_{p1t} = 2\mu\text{m}$ 、 $U_{p1L} = 3.5\mu\text{m}$ 、 $U_{p1w} = 4\mu\text{m}$ 、 $\theta = 45^\circ$ 、 $U_{p2d} = 1\mu\text{m}$ 、 $U_{p2t} = 3\mu\text{m}$ 、 $U_{p2w} = 3\mu\text{m}$ 、 $U_{p2Ly} = 4\mu\text{m}$ 、 $U_{p2s} = 4\mu\text{m}$ 、 $\phi = 45^\circ$ 、 $U_{p2w} = 26\mu\text{m}$ とし、下部磁極先端部 23 の高さ  $L_{p2h}$  の変化による記録磁界強度の変化を計算した。なお、下部磁極 5 の幅  $L_{p1w}$  を  $100\mu\text{m}$ 、下部磁極の厚さ  $L_{p1t}$  を  $2\mu\text{m}$  とした。

## 【0029】

一方、図 4 に示す従来の薄膜磁気ヘッドはギャップ深さを決める第 1 の非磁性絶縁層 16 の厚さ  $I_{Lh}$  を  $0.4\mu\text{m}$ 、下部磁極主層 5 の膜厚  $L_{p1t}$  を  $2.5\mu\text{m}$  とし、他の寸法は本発明の薄膜磁気ヘッドと同一とした。

## 【0030】

また、本発明の薄膜磁気ヘッドに使用する磁性材料として、下部磁極主層 5 および上部磁極上層 20 には  $46\text{Ni-Fe}$  膜 (飽和磁束密度  $B_s = 1.68\text{T}$ )、下部磁極先端部 23、下部磁極後端部 24、上部磁極先端層 17、上部磁極後端層 18 には  $\text{CoNiFe}$  膜 ( $B_s = 2.0\text{T}$ ) を用いた。従来の薄膜磁気ヘッドには、本発明の薄膜磁気ヘッドと同一の材料を用いた。但し、下部磁極 5 は比較のために  $\text{CoNiFe}$  膜 ( $B_s = 2.0\text{T}$ ) とした。

## 【0031】

図 11 に、トラック幅中心の位置で、媒体中心となる浮上面より  $25\text{nm}$  離れた位置での媒体走行方向の最大磁界強度  $H_{x\text{max}}$  を示す。以下、この値を磁界強度と称する。図のように、従来の薄膜磁気ヘッドの磁界強度は約  $9000\text{Oe}$  であり、下部磁極先端部の高さ  $L_{p1h} = 0.3\mu\text{m}$  の場合の本発明の薄膜磁気ヘッドの磁界強度は、従来の薄膜磁気ヘッドより高い磁界強度を示す。 $L_{p2h}$  の増加と共に本発明の薄膜磁気ヘッドの磁界強度は急激に増加し、 $1\mu\text{m}$  以上で磁界強度の増加は飽和する。このように  $L_{p1h}$  と共に磁界強度が増加する理由は、上部磁極先端層 17 および上部磁極上層 20 と、下部磁極 5 の間の距離が大きくなることにより、この間の漏洩磁束が少なくなり、磁束がヘッド先端の記録ギャップ近傍まで減衰が少なく到達するためと考えられる。

## 【0032】

以上のように、下部磁極先端部 2 3 を設けて、その高さ  $L_{p2h}$  を  $1\ \mu\text{m}$  以上とすることにより、従来の薄膜磁気ヘッドに比し、磁界強度を約  $6000\text{e}$  以上、大幅に増加させることが可能となる。この磁界増加は高保磁力媒体に高密度の信号を記録する上で極めて有利である。

## 【0033】

また、下部磁極先端部 2 3 を設けた場合、この平坦面上に上部磁極先端層作成のためのフォトリソを形成できるため、従来例のように露光の際に段差による異常反射や焦点深度の不足によるトラック幅精度の劣化がなく、狭トラック幅の形成が高精度にできるという利点を有する。

## 【0034】

下部磁極先端部の高さ  $L_{p2h}$  は、図 1 1 に示したように  $0.3\ \mu\text{m}$  以上で従来例に比較して磁界強度増加の効果があり、 $0.7\ \mu\text{m}$  以上で十分な磁界増加効果がある。一方、磁気ヘッドとしては、ヘッド各部の寸法が変化したときの磁界変化は小さい方が好ましい。かかる観点から、 $L_{p2h}$  は磁界が十分高く、かつ磁界変化が少なくなる  $0.7\ \mu\text{m}$  以上とするのがより好ましい。

## 【0035】

一方、 $L_{p2h}$  を大きくしすぎると、記録ギャップと再生ギャップの間隔が大きくなり、以下のような問題が生ずる。すなわち、記録ギャップと再生ギャップの間隔が大きくなりすぎると、磁気ディスク上での再生トラックと記録トラックの位置の偏差が大きくなりトラック位置を制御することが困難となる。また、記録ギャップと再生ギャップの間隔増加に従って、磁気ディスク上に信号を記録できる領域が狭くなりフォーマット効率が低下する。このような問題から記録・再生ギャップ間隔を  $6\ \mu\text{m}$  未満とすることが求められている。

## 【0036】

本発明の薄膜磁気ヘッドでは、再生素子 4 の中心から上部シールド 2 1 までの間隔を  $0.04\ \mu\text{m}$ 、上部シールド 2 1 の厚さを  $1.3\ \mu\text{m}$ 、セパレート層 2 の厚さを  $0.5\ \mu\text{m}$ 、下部磁極主層 5 の厚さを  $2\ \mu\text{m}$ 、下部磁極先端部上端から記録ギャップ中心までの距離を  $0.065\ \mu\text{m}$  と設定しており、記録・再生ギャップ間隔を  $6\ \mu\text{m}$  未満とするためには、約  $0.1\ \mu\text{m}$  の余裕を取って下部磁極先端

部高さ  $L_{p2h}$  を  $2\ \mu\text{m}$  以下とする必要がある。また、さらに寸法バラツキに対する余裕を取るために  $L_{p2h}$  を  $1.5\ \mu\text{m}$  以下とすることがより好ましい。

【0037】

図12に、下部磁極先端部の幅  $L_{p2w}$  を変化した時の磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さ  $L_{p2h}$  は  $1.4\ \mu\text{m}$  とした。その他の形状は図11の場合と同じである。図のように、 $L_{p2w}$  の増加に伴って、磁界強度は急激に増加して約  $3\ \mu\text{m}$  で最大値となり、その後徐々に減少する。

【0038】

$L_{p2w}$  が  $3\ \mu\text{m}$  以下で磁界強度が低いのは、下部磁極先端部が磁気飽和を生ずるためであり、 $3\ \mu\text{m}$  以上で磁界が徐々に低下するのは  $L_{p2w}$  が広い場合、上部磁極から下部磁極先端部の端部への漏洩磁束が増加して、記録ギャップ近傍への磁束が相対的に減少するためと考えられる。

【0039】

従って  $L_{p2w}$  を  $1\ \mu\text{m}$  以上とするのが望ましい。 $1\ \mu\text{m}$  以上であれば、従来の薄膜磁気ヘッドより十分高い磁界強度が得られる。しかし  $L_{p2w}$  が  $3\ \mu\text{m}$  未満では  $L_{p2w}$  のバラツキによる磁界の変化が大きい。従って、 $L_{p2w}$  の変化に対して安定な磁界強度が得られるように  $L_{p2w}$  を  $3\ \mu\text{m}$  以上とすることがより好ましい。 $L_{p2w}$  が  $3\ \mu\text{m}$  以上では磁界強度は徐々に低下する。

【0040】

一方、本発明の薄膜磁気ヘッドでは、高い磁界強度を得るために下部磁極先端部の材料として  $1.6\ \text{T}$  以上、好ましくは  $1.8\sim 2.2\ \text{T}$  の高い飽和磁束密度  $B_s$  を有する磁性材料を用いる。具体的な材料としては  $46\ \text{Ni}$  を中心組成とした  $\text{Ni-Fe}$  膜、あるいは  $\text{Co-Fe-Ni}$  膜が挙げられる。これらの高  $B_s$  膜、特に  $1.8\sim 2.2\ \text{T}$  の高い飽和磁束密度  $B_s$  の  $\text{Co-Fe-Ni}$  膜それ自身は一般的に耐食性に難があるが、保護膜を浮上面に付着形成した場合は、腐食等の問題は生じない。しかし、浮上面保護膜は  $3\sim 6\ \text{nm}$  と非常に薄く形成するために、浮上面研磨時の微細な研磨傷が残っている場合には、浮上面保護膜がその傷を十分覆うことが出来ず欠陥として残る場合がある。その場合には、その後の製造プロセスにおける洗浄工程等で、この欠陥部分から腐食を生ずるおそれがある。



る。これを防ぎ、製造歩留まりを向上するために、高  $B_s$  膜を使用する下部磁極先端部の浮上面への露出幅を小さく押さえる必要がある。

#### 【 0 0 4 1 】

さらに、近年の記録密度向上に伴って、記録媒体表面と浮上面との浮上量を低減する必要がある。そのために、薄膜磁気ヘッドを塔載しているスライダーの浮上面のトラック幅方向の幅を低減する必要がある。薄膜磁気ヘッドの位置でのスライダーの浮上面幅が、ヘッドの上部磁気シールド 2、下部磁気シールド 2 1、下部磁極主層 5、あるいは下部磁極先端部 2 3 の幅より小さい場合は、スライダーの浮上面幅より外側のヘッドの上部磁気シールド 2、下部磁気シールド 2 1、下部磁極主層 5、あるいは下部磁極先端部 2 3 は、スライダーの溝加工時にイオンミリング等により溝加工が施され、浮上面に対して段差が形成される。

#### 【 0 0 4 2 】

この後の加工プロセスにより、浮上面保護膜が形成されるが、前述のように、保護膜は極めて薄く形成されるため、突起段差部を十分保護できない場合は、保護膜に欠陥が生ずる恐れがある。特に高い  $B_s$  を有し、耐食性の低い下部磁極先端部は、その幅が浮上面幅より大きい場合には、上記の突起段差部において腐食を生ずる可能性がある。薄膜磁気ヘッドの位置でのスライダーの浮上面幅は従来の約  $200\ \mu\text{m}$  から、今後約  $60\ \mu\text{m}$  以下に低減する趨勢にある。これらを踏まえ、下部磁極先端部の腐食による不良率を低減し、製造歩留まりを向上させるために、加工寸法のずれのマーヅンをとって、下部磁極先端部の幅  $L_{p2w}$  を  $50\ \mu\text{m}$  以下、さらに好ましくは  $30\ \mu\text{m}$  以下とする必要がある。

#### 【 0 0 4 3 】

図 1 3 に、ギャップ深さ  $G_d$  を変化した時の磁界強度の変化を示した。下部磁極先端部高さ  $L_{p2h}$  は  $1.4\ \mu\text{m}$  とした。その他の形状は図 1 1 の場合と同じである。 $G_d$  が  $2\ \mu\text{m}$  である点から  $G_d$  の減少と共に磁界強度は増加し、 $G_d$  が約  $0.3\ \mu\text{m}$  で最大となり、 $0.3\ \mu\text{m}$  未満では急激に減少する。 $G_d$  が  $0.3\ \mu\text{m}$  未満で磁界強度が減少する理由は下部磁極先端部が磁気飽和するためであり、 $G_d$  が  $0.3\ \mu\text{m}$  以上で磁界強度が減少する理由は、 $G_d$  の増加と共に下部磁極先端部のギャップ深さ側を通過する磁束が増加し、浮上面側の記録ギャップ近

傍への磁束の集中が減少するためである。

【0044】

G d が  $0.3 \mu\text{m}$  未満でも高い磁界は得られるが、G d の変化による磁界の変化が急峻であり、記録特性のバラツキを生じやすい。また、G d が  $0.3 \mu\text{m}$  未満の場合には下部磁極先端部の機械的強度が低下して、剥離等の問題を生じやすい。従ってG d を  $0.3 \mu\text{m}$  以上とすることが望ましい。一方、G d が  $2 \mu\text{m}$  を越える場合には磁界強度が大きく低下するため、G d を  $2 \mu\text{m}$  以下とすることが好ましい。

【0045】

図14に、トリム深さT r による磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さL P 2 h は  $1.4 \mu\text{m}$  とした。その他の形状は図11の場合と同じである。図のように、磁界強度はトリム深さT r の増加と共に減少するため、従来ヘッド以上の磁界強度を得るためにT r を  $0.4 \mu\text{m}$  以下とすることが望ましい。T r が  $0.1 \mu\text{m}$  未満では磁界強度はほぼ一定である。しかし、 $0.1 \mu\text{m}$  未満とした場合には、トラック中心からトラック端部以上離れた位置での媒体面内磁界成分が十分に減少せず、媒体保磁力に近い、あるいは媒体保磁力を越える大きな値となる。このような場合には、記録ヘッドが信号を消去する消去幅T w e が記録信号幅T w w に比べて不要に大きくなり、場合によっては隣接トラックの信号を消去、減衰させるという問題を生ずる。従って、トリム深さは  $0.1 \mu\text{m}$  以上とする必要がある。

【0046】

本発明の薄膜磁気ヘッドにおいては、図5(a)に示した下部磁極先端部の形状のように、下部磁極先端部の上端面28にテーパ角 $\alpha$ を付与することも出来る。図15にテーパ角 $\alpha$ による磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さL p 2 h は  $1.4 \mu\text{m}$  とした。その他の形状は図11の場合と同じである。下部磁極先端部の上端面にテーパ角を付与した場合には上部磁極先端層から下部磁極先端部端部への漏洩磁束が減少するため磁界強度が増加する。

【0047】

図15のように、テーパ角 $\alpha$ の増加とともに磁界強度は増加し、 $\alpha = 20 \sim$

40度で最大となった後に減少する。40度以上で磁界強度が減少するのは、下部磁極先端部が飽和するためである。従ってテーパ角 $\alpha$ として、磁界増加の効果が得られる60度以下とするのが好ましい。図5(b)に、下部磁極先端部が2つ以上の上端面28、28'と2つ以上のテーパ角 $\alpha$ 、 $\alpha'$ を持つ例を示した。このようにテーパ角が2つ以上の値をもつ場合でも、上記テーパ角による磁界増加の効果を同様に有する。

## 【0048】

図1の説明において述べた上部磁極先端層の磁極広がり位置 $L_y$ による磁界強度の変化を図16に示す。下部磁極先端部高さ $L_{p2h}$ は $1.4\mu m$ とした。その他の形状は図11の場合と同じである。 $L_y$ の減少と共に磁界強度は大きく増加する。 $L_y$ が $1.5\mu m$ を越えた場合には磁界強度は従来ヘッドにおける磁界強度90000eよりも低下してしまう。従って、 $L_y$ を $1.5\mu m$ 以下にすることが好ましい。また $L_y$ を低減するほど磁界強度は増加するが、フォトレジストの解像度等の限界から、 $L_y$ 近傍には少なくとも $0.2\mu m$ 程度の曲率半径 $R$ がついてしまう。このため $L_y$ を $0.2\mu m$ 未満とした場合には $L_y$ の加工精度によるトラック幅の変化が大きくなる。従って、 $T_w$ 幅精度を確保するために $L_y$ を $0.2\mu m$ 以上とすることが好ましい。

## 【0049】

図3あるいは図4に示した従来の薄膜磁気ヘッドでは、コイル絶縁層の斜面15上もしくは第1の絶縁層16の突起段差上にトラック幅を規定する上部磁極9あるいは上部磁極先端層17を形成する。このため、磁極広がり位置 $L_y$ をギャップデプス $G_d$ の近傍に設定した場合には、斜面あるいは突起段差からの露光の反射等により $L_y$ 近傍のトラック幅が磁極広がり形状の影響を受けて誤差が大きくなるため、 $L_y$ を $G_d$ より少なくとも $0.3\mu m$ 以上大きな値とする必要があった。このため、従来の薄膜磁気ヘッドでは $L_y$ を大幅に小さくして磁界強度を増加することが困難だった。

## 【0050】

一方、本発明の薄膜磁気ヘッドは、前記のように、トラック幅を規定する上部磁極先端層を下部磁極先端部の平坦な面に形成できるため、上記のような $L_y$ と

G d の位置関係の制約がないという特徴がある。図 7 および図 1 1 のように、本発明の薄膜磁気ヘッドにおいては、G d による磁界強度の変化よりも、L y による磁界強度の変化が大きい。従って、L y を G d より小とする構成により高い磁界強度を有する薄膜磁気ヘッドを実現できる。

## 【 0 0 5 1 】

図 1 7 の曲線 ( a ) に、上部磁極先端層の開き角  $\theta$  による磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さ  $L_{p2h}$  は  $1.4 \mu m$  とした。その他の形状は図 1 1 の場合と同じである。図のように、 $\theta$  の増加とともに磁界強度は増加し、45 度以上で増加は緩やかになる。上部磁極先端層の開き角  $\theta$  が大きすぎると、レジスト露光の際のレジスト中の光の散乱等により前記の L y 近傍の曲率半径 R が大きくなり、トラック幅精度が低下する傾向がある。これを防ぐために開き角  $\theta$  を 60 度以下、より好ましくは 50 度以下とすることが望ましい。また、開き角  $\theta$  が 20 度未満の場合には磁界強度の低下が著しいため、開き角  $\theta$  を 20 度以上、より好ましくは 30 度以上とすることが望ましい。

## 【 0 0 5 2 】

なお、図 6 に示した上部磁極先端層の平面形状のように、上部磁極先端層の開き角および L y を 2 つ以上として、ヘッド後部側の広がり位置 L y 2 での開き角  $\theta_2$  をヘッド先端側の広がり位置 L y 1 の開き角  $\theta_1$  より大きくした 2 段形状とすることにより、磁界強度の低下を緩和してかつトラック幅を決める L y 1 近傍の加工精度を向上することも出来る。このような例として  $L_{y1} = 0.8 \mu m$ 、 $L_{y2} = 1.3 \mu m$ 、 $\theta_2$  を 45 度とした場合の  $\theta_1$  による磁界強度の変化を図 1 2 曲線 ( b ) に示す。このように 2 段形状にすることにより、 $\theta_1$  の小さな領域における磁界強度が増加できる。この結果、ヘッド先端側の開き角  $\theta_1$  の使用可能な最小値を 10 度まで低減することが出来る。

## 【 0 0 5 3 】

図 1 8 に、上部磁極先端層膜厚  $U_{p1t}$  による磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さ  $L_{p2h}$  は  $1.4 \mu m$  とした。図 1 8 の曲線 ( a ) は上部磁極深さ  $U_{p2d}$  を  $1 \mu m$  曲線 ( b ) は  $U_{p2d}$  を  $0.5 \mu m$  とした場合である。その他の形状は図 1 1 の場合と同じである。曲線 ( a ) のように、 $U_{p2d}$  を  $1 \mu m$  と

した場合、上部磁極先端層膜厚  $U_{p1t}$  の増加とともに磁界強度は急激に増加して  $2 \sim 3 \mu m$  で最大となり、その後徐々に低下する。 $U_{p2d}$  が  $0.5 \mu m$  の場合は  $U_{p1t}$  が薄い領域で磁界強度の減少が小さい。膜厚の薄い領域で磁界が減少するのは、上部磁極上層からの磁束をヘッド先端の記録ギャップ近傍に伝達する際の磁路幅が低下するためであり、膜厚の厚い領域で磁界が減少するのは、膜厚が厚すぎると上部磁極上層とヘッド先端の記録ギャップ近傍との距離が大きくなり磁路長さが増加するためと考えられる。また、 $U_{p2d}$  が小さい場合には上部磁極上層とヘッド先端の記録ギャップとの距離が短くなるために、磁界強度が増加する。

## 【 0 0 5 4 】

図のように、高い磁界強度を得るためには、上部磁極先端層膜厚  $U_{p1t}$  は  $0.5 \mu m$  以上、望ましくは  $1 \mu m$  以上必要である。 $U_{p2d}$  が小さい場合、 $U_{p1t}$  が  $0.5 \mu m$  未満でも高い磁界が得られるが、 $U_{p1t}$  が  $0.5 \mu m$  未満の場合は膜厚バラツキによる磁界強度の変化が大きいため、 $0.5 \mu m$  以上とするのが望ましい。また、 $U_{p1t}$  が  $4 \mu m$  を越えた場合は磁界強度が低下し始めるため  $4 \mu m$  以下とするのが望ましい。

## 【 0 0 5 5 】

上部磁極先端層の膜厚は磁界強度のみでなく、トラック幅精度にも影響を与える。すなわち、上部磁極先端層を厚くすると上部磁極先端層を形成するためのレジストも厚く形成する必要がある。レジストが厚い場合にはレジスト中の光の散乱が増加し解像度が低下するためトラック幅精度も低下するという影響がある。従って、磁界強度を確保した上でトラック幅精度を向上するために、上部磁極先端層膜厚  $U_{p1t}$  を  $3 \mu m$  以下とすることがより好ましい。

## 【 0 0 5 6 】

上記の例では、上部磁極先端層全体を  $2.0 T$  の  $CoNiFe$  で構成した場合の磁界強度について述べた。しかし、前述のように、本発明の薄膜磁気ヘッドにおいては、基本的に上部磁極先端層 17 および上部磁極後端層 18 および第 2 の非磁性絶縁層 19 を形成した後、これらの面を研磨により平坦化してその後上層コイル 8'、コイル絶縁層 7、上部磁極上層 20 を形成する。上部磁極先端層 1

7を研磨する際に、上部磁極先端層として高飽和磁束密度を有するC o N i F eメッキ膜を使用する場合には、この膜の耐食性が低いために研磨液に対して腐食を生ずる場合がある。このような研磨の際のC o N i F eの腐食を防ぐために、上部磁極先端層をC o N i F e膜の上に4 6 N i - F e膜を積層した2層構造とし、研磨時にC o N i F e膜が露出しないようにすることが出来る。

## 【 0 0 5 7 】

図19に、上部磁極先端層の記録ギャップ層に隣接する側を2. 0 Tの磁性膜とし、上部磁極上層に隣接する側を1. 6 8 Tの磁性膜とした多層膜を用いた場合の、記録ギャップ側の高B s膜の膜厚U p 1 h b tによる磁界強度の変化を示す。上部磁極先端層全体の膜厚U p 1 tは2  $\mu$  mとし、下部磁極先端部高さL p 2 hは1. 4  $\mu$  mとした。その他の形状は図11の場合と同じである。図のように、U p 1 h b tの増加とともに磁界強度は急激に増加し、0. 5  $\mu$  m以上で増加はゆるやかになる。従って、上部磁極先端層を高B s膜と、これよりB sの低い膜の多層膜とした場合、記録ギャップ側の高B s膜の膜厚が0. 2  $\mu$  m以上で高い磁界が得られる。しかし、0. 5  $\mu$  m未満では膜厚による磁界強度の低下が著しいため、0. 5  $\mu$  m以上とすることがより好ましい。

## 【 0 0 5 8 】

図20に、浮上面より上部磁極上層の先端までの距離、すなわち、上部磁極上層深さU p 2 dによる磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さL p 2 hは1. 4  $\mu$  mとした。その他の形状は図11の場合と同じである。U p 2 dの増加とともに磁界強度は徐々に低下し、1. 5  $\mu$  m以上で低下は大きくなる。以上のよう、磁界強度の向上にはU p 2 dを小さくすると良いが、U p 2 dが小さすぎる場合には、上部磁極上層の端部からの漏洩磁界が媒体の記録信号を消去・減衰させるおそれがある。U p 2 dが0. 2  $\mu$  mの場合、上部磁極上層の端部から発生する漏洩磁界は媒体中心位置（浮上面より2 5 n m）で1 5 0 0 0 e以下であるが、U p 2 d = 0、すなわち上部磁極上層の先端が浮上面に露出した場合には漏洩磁界は3 0 0 0 0 eにも達し、使用する媒体によっては媒体上に記録された信号を消去・減衰させるおそれがある。従って、U p 2 dを0. 2  $\mu$  m以上とすることにより上記の問題を回避できる。一方、U p 2 dを大きくすると磁界強度

が低下するため、 $U_{p2d}$ を $2\mu m$ 以下、好ましくは $1.5\mu m$ 以下とすることが望ましい。

## 【0059】

図20において、 $U_{p2d}$ の増加により磁界強度が低下するのは主に上部磁極上層と上部磁極先端層の接触長さ $L_c$ が短くなるためである。ここで接触長さ $L_c$ とは、図1に示す上部磁極長さ $U_{p1L}$ と上部磁極上層深さ $U_{p2d}$ の差に相当する。

## 【0060】

図21に上部磁極先端層と上部磁極上層の接触長さ $L_c$ による磁界強度の変化を示す。図のように接触長さ $L_c$ とともに磁界強度は急速に増加し $2\mu m$ 以上で増加は緩やかになる。高い磁界強度を得るためには $L_c$ を $1.5\mu m$ 以上とする必要がある。また $2\mu m$ 未満では $L_c$ による磁界の変化が大きいため、 $L_c$ を $2\mu m$ 以上とするのがより好ましい。

## 【0061】

なお、上部磁極先端層の長さ $U_{p1L}$ および上部磁極上層立ち上がり位置 $U_{p2s}$ を大きくすることにより接触長さ $L_c$ を大きくとることが出来る。このようにした場合、上部磁極後端層、下部磁極後端部と下部磁極が接触するバックコンタクト位置 $B_c$ とギャップ深さまでの距離が長くなり、ヘッド全体の磁路長が大きくなる。これにより磁界の変化速度が遅くなり、高周波での記録特性が劣化するという問題を生ずる。

## 【0062】

従って $U_{p1L}$ は接触長さ $L_c$ を確保して短くするよう $5\mu m$ 以下、好ましくは $4\mu m$ 以下とすることが望ましい。また、上部磁極上層と上部磁極先端層の位置合わせがずれても接触長さ $L_c$ が確保できるよう、上部磁極上層立ち上がり位置 $U_{p2s}$ と $U_{p1L}$ との差( $U_{p2s} - U_{p1L}$ )を0以上 $1.5\mu m$ 以下とすることが望ましい。

## 【0063】

図22に、上部磁極上層の膜厚 $U_{p2t}$ による磁界強度の変化を示す。下部磁極先端部高さ $L_{p2h}$ は $1.4\mu m$ とした。その他の形状は図11の場合と同じ

である。図のように、上部磁極上層の膜厚  $U_{p2t}$  とともに磁界強度は急激に増加し、 $2\mu m$  以上で増加は飽和する。高い磁界強度を得るためには  $U_{p2t}$  を  $1.5\mu m$  以上とする必要がある。一方、 $U_{p2t}$  のバラツキに対して安定な磁界強度を得るために、 $U_{p2t}$  を  $2\mu m$  以上とすることが望ましい。また、 $U_{p2t}$  が厚すぎる場合には渦電流効果により高周波での磁界強度が低下する傾向があるため、 $U_{p2t}$  を  $4\mu m$  以下とするのが望ましい。

## 【0064】

以上のように、本発明の薄膜磁気ヘッドにおいて、下部磁極先端部を設け、その形状を選択することにより従来の薄膜磁気ヘッドに比較して高い記録磁界が得られる。また、下部磁極先端部の平坦な面上に上部磁極先端層を作成するためのレジストを形成できるために、狭いトラック幅の加工精度を向上することが出来る。

## 【0065】

## &lt;実施例2&gt;

実施例1で述べたごとく、本発明の薄膜磁気ヘッドにより高い記録磁界を実現できる。一方、本発明の薄膜磁気ヘッドにおいて記録磁界が非常に高い場合には、トラック中心よりトラック端部以上トラック幅方向へ離れた位置（オフトラック位置）での媒体面内磁界が大きくなるという課題が判明した。ここで媒体面内磁界とは、記録媒体走行方向の磁界成分とトラック幅方向の磁界成分とのベクトル和  $H_{xz}$  を指す。オフトラック位置での媒体面内磁界が大きい場合には、媒体に記録された隣接トラックの信号が消去されたり減衰するおそれがあるため、オフトラック位置での媒体面内磁界は出来るだけ小さいほうが望ましい。本発明の第2の実施例は、オフトラック位置での媒体面内磁界を減少するための構造を提案するものである。

## 【0066】

図7に、本発明の第2の実施例による薄膜磁気ヘッドの先端部の斜視図を示す。実施例1の薄膜磁気ヘッドにおいは、上部磁極先端層からの漏洩磁束が下部磁極先端部の浮上面端部付近に集中し、これがオフトラック位置での媒体面内磁界を増加しているものと考えられる。これを低減するために、実施例2では漏洩磁



束を吸収するための突起段差部 2 9 を下部磁極先端部 2 3 に設ける。図において、突起段差部 2 9 の上部磁極先端層からの幅を  $S t w$ 、突起段差部 2 9 の浮上面からの開始位置を  $S t d$  とする。

## 【 0 0 6 7 】

図 2 3 に下部磁極先端部に突起段差部 2 9 の  $S t w$  が零の場合（突起段差部 2 9 において上部磁極の幅より大きい部分なしに相当）の、図 2 4 に下部磁極先端部に突起段差部 2 9 の  $S t w$  が零でない場合（突起段差部 2 9 において上部磁極の幅より大きい部分ありに相当、この例では  $S t w = 3.8 \mu m$  とした）の媒体面内磁界  $H x z$  を比較して示した。

## 【 0 0 6 8 】

これらの例では、 $L y = 0.5 \mu m$ 、 $S t d = 0.5 \mu m$ 、 $L p 2 h = 1.4 \mu m$  とし、他の条件は図 1 1 の場合と同じである。図では、ヘッドを浮上面から見た場合の媒体中心に相当する位置（浮上面より  $25 nm$ ）の媒体面内方向  $H x z$  の磁界分布を示しており、ヘッドのトラック中心  $z = 0$  から右半分を示す。横軸  $z$  はトラック中心からの位置を示す。 $z = 0 \sim 0.175 \mu m$  がトラック幅であり、 $z = 0.175 \mu m$  以上がオフトラック部分となる。縦軸  $x$  は媒体走行方向の位置を示し、 $x = -0.13 \mu m$  以下は下部磁極先端部、 $x = -0.13 \sim 0 \mu m$  は記録ギャップ、 $x = 0$  以上は上部磁極先端層である。

## 【 0 0 6 9 】

図 2 3 のように突起段差部 2 9 の  $S t w$  が零の場合、トラック端部（ $z = 0.175 \mu m$ ）より大きく離れた  $z = 0.45 \mu m$  の面内磁界成分  $H x z$  は  $40000 e$  を越えており、使用する媒体によっては隣接トラックに記録された信号の消去・減衰のおそれがある。

## 【 0 0 7 0 】

突起段差部 2 9 がゼロでない場合（この例では  $S t w = 3.8 \mu m$ ）には、図 2 4 のように  $z = 0.45 \mu m$  での面内磁界成分は約  $40000 e$  以下に低減し、隣接トラックへの影響を低減することができる。

## 【 0 0 7 1 】

図 2 5 に、突起段差部 2 9 の  $S t w$  が零でない場合とゼロである場合について

、上部磁極先端層の磁極広がり位置、すなわち、上部磁極絞り位置  $L_y$  を変化した時のトラック幅中心の磁界強度  $H_{x\max}$  を、図 2 6 に媒体面内磁界の  $z = 0.45 \mu\text{m}$  での最大値  $H_{xz\max}$  の変化を示す。曲線 (a) は突起段差部 2 9 の  $Stw$  が零の場合、曲線 (b) は突起段差部 2 9 の  $Stw$  が零でない場合である。 $Std = L_y$  とし、他の条件は図 2 3 と同じである。図 2 5 のようにトラック幅中心の磁界強度に比較して、突起段差部 2 9 の  $Stw$  が零でない場合の磁界強度の減少は  $1000\text{e}$  以下であり、かかる突起段差部 2 9 付与の中心磁界への影響は小さい。一方、図 2 6 のように、 $z = 0.45 \mu\text{m}$  での媒体面内磁界  $H_{x\max}$  は上記のごとき突起段差部 2 9 付与により大幅に低減できる。特にこの効果は、中心磁界強度の高い  $L_y$  の小さい領域で顕著である。

## 【0072】

図 2 7 および 2 8 に、突起段差部 2 9 の幅  $Stw$  による中心磁界強度  $H_{x\max}$  と、 $z = 0.45 \mu\text{m}$  での媒体面内磁界の最大値  $H_{x\max}$  の変化を示す。 $L_y = Std = 0.5 \mu\text{m}$  とし、他の条件は図 2 5 と同じである。図において  $Stw = 0$  は突起段差部 2 9 において上部磁極の幅より大きい部分なしに相当する。図 2 7 のように、 $Stw$  により中心磁界はほとんど変化しない。一方、図 2 8 のように、 $z = 0.45 \mu\text{m}$  での媒体面内磁界は  $Stw$  が  $0.5 \mu\text{m}$  未満で増加し、突起段差部 2 9 付与の効果が少なくなる。従って突起段差部 2 9 の幅  $Stw$  は  $0.5 \mu\text{m}$  以上必要である。

## 【0073】

図 2 9 および 3 0 に、下部磁極先端部上の突起段差部 2 9 の開始位置と浮上面との距離  $Std$  による中心磁界強度  $H_{x\max}$  と  $z = 0.45 \mu\text{m}$  での媒体面内磁界の最大値  $H_{xz\max}$  の変化を示す。 $Stw$  を  $3.8 \mu\text{m}$  とし、他の条件は図 2 7、2 8 と同じである。 $Gd = 1$  であるため  $Std = 1$  は突起段差部 2 9 なしの場合に相当する。図 2 9 のように、中心磁界は  $Std$  減少とともにわずかに増加する。一方、 $z = 0.45 \mu\text{m}$  での媒体面内磁界は  $Std$  の減少とともに減少する。従って、突起段差部 2 9 において上部磁極の幅より大きい部分を付与することによりいずれの  $Std$  でもオフトラック位置での媒体面内磁界は減少するが、突起段差部開始位置  $Std$  を  $L_y$  以下とするの効果が大きくより好ましい。

また、 $Std$  を小さくしすぎるとトリミングの効果が低下してかえってオフトラック位置での媒体面内磁界が増加するため、 $Std$  は  $0.1 \mu m$  以上とすることが望ましい。

## 【0074】

本実施例における突起段差部 29 を形成する方法としては、幾つかの方法がある。例えば、下部磁極先端部 23、記録ギャップ層 6、上部磁極先端層 17 を形成した後、FIB（フォーカスドイオンビーム）により下部磁極先端部の不要部を除去することにより、図 1 に示す突起段差部 27 に相当するトラックトリミングと突起段差部 29 形成を同時に行うことが出来る。また、上部磁極先端層 17 を形成した後、下部磁極先端部上の突起段差部 29 となるべき部分に保護レジストを形成し、これをマスクとしてイオンミリング等により不要部を除去して、トラックトリミングと突起段差部 29 の形成を行うことが出来る。

## 【0075】

本発明の薄膜磁気ヘッドにおいて下部磁極先端部上の突起段差部 29 は従来のトラックトリミングと同様に下部磁極先端部をトラック幅を除いて除去加工を行って形成されるため、従来のトラックトリミングと類似にしたものに見える。しかし、従来のトラックトリミングは上部磁極先端層をマスクとしてイオンミリング等により加工し、上部磁極先端層の形状とほぼ同一形状に形成されるものである。これに対して、本発明の突起段差部 29 は、図 7 に示すように、少なくとも浮上面よりヘッド後部において上部磁極先端層より広い幅を有することを特徴とし、上部磁極先端層より広い部分で上部磁極先端層からの漏洩磁束を吸収することを目的としたものである。

## 【0076】

従って、図 8 に示すように、上部磁極先端層より幅の広い突起段差部の形状として様々な形状が可能であり、いずれもオフトラック位置での媒体面内磁界の低減に効果がある。なお、突起段差部 29 の高さは、トリム深さ  $Tr$  とほぼ同等であるが、これより小さい場合でも効果は得られる。

## 【0077】

## &lt;実施例3&gt;

前記の実施例 1 および 2 では、トラック幅を  $0.35 \mu\text{m}$  とした場合の例を記載したが、トラック幅を上記以外の値とした場合、ヘッド各部の寸法をトラック幅に対して比例的に変化させることにより、磁界強度の変化は実施例 1 および 2 と同様であることが判明した。従って、トラック幅  $T_r$  を変化した場合の各部寸法の選択範囲は次のようになる。

## 【 0 0 7 8 】

(a) 下部磁極先端部の高さ  $L_{p2h}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $L_{p2h}/T_w$  が  $0.9$  以上、さらに好ましくは  $2$  以上。

(b) 下部磁極先端部の幅  $L_{p2w}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $L_{p2w}/T_w$  が  $2.9$  以上、さらに好ましくは  $8.6$  以上。

(c) ギャップ深さ  $G_d$  とトラック幅  $T_w$  の比  $G_d/T_w$  が  $0.9$  以上  $5.7$  以下。

(d) トリム深さ  $T_r$  とトラック幅  $T_w$  の比  $T_r/T_{ww}$  が  $0.29$  以上  $1.15$  以下。

(e) 磁極広がり位置  $L_y$  とトラック幅  $T_w$  比  $L_y/T_w$  が  $0.6$  以上  $4.3$  以下。

(f) 上部磁極先端層膜厚  $U_{p1t}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $U_{p1t}/T_w$  が  $1.4$  以上  $11.4$  以下、さらに好ましくは  $2.9$  以上  $8.6$  以下。

(g) 上部磁極先端層高  $B_s$  膜厚  $U_{p1hbt}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $U_{p1hbt}/T_w$  が  $0.6$  以上、さらに好ましくは  $1.4$  以上。

(h) 上部磁極上層深さ  $U_{p2d}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $U_{p2d}/T_w$  が  $0.6$  以上  $5.7$  以下、さらに好ましくは  $0.6$  以上  $4.3$  以下。

(i) 上部磁極上層と上部磁極先端層の接触長さ  $I_c$  とトラック幅  $T_w$  の比  $I_c/T_w$  が  $4.3$  以上、さらに好ましくは  $5.7$  以上。

(j) 上部磁極上層長さ  $U_{p1L}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $U_{p1L}/T_w$  が  $1.4$  以下、より好ましくは  $11.4$  以下。

(k) 上部磁極上層膜厚  $U_{p2t}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $U_{p2t}/T_w$  が  $4.3$  以上  $11.4$  以下、より好ましくは  $5.7$  以上  $11.4$  以下。

(l) 上部磁極先端層上の突起段差部の幅  $S_{tw}$  とトラック幅  $T_w$  の比  $S_{tw}$

／ $T_w$ が1.4以上。

(m) 上部磁極先端層上の突起段差部の開始位置 $S_{td}$ とトラック幅 $T_w$ の比が0.3以上。

【0079】

上記のような形状を用いることにより、実施例1および2と同様にトラック幅精度が高く、高い記録磁界強度を有し、かつオフトラック位置での媒体面内磁界が小さい薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

【0080】

実施例1、2および3に示した本発明の薄膜磁気ヘッドにおいては、図2に示すように上部磁極先端層を有する例について記載してきたが、図9に示すように、上部磁極先端層を用いないヘッドに下部磁極先端部23を組み合わせても同様の効果が得られる。この場合には上部磁極先端層17は図9の上部磁極先端部に相当する。

【0081】

また、実施例1、2および3に示した本発明の薄膜磁気ヘッドにおいては、図2に示すように下層コイル8が上部磁極先端層17と上部磁極後端層18の間にある上部磁極後端層18を周回するごとく配置され、上層コイル8'がコイル絶縁層の中にある上部磁極上層後端部26を周回するごとく配置されているが、図10(a)のように、下層コイル8および上層コイル8'ともコイル絶縁層7の中にある上部磁極上層後端部26を周回するごとく構成しても良い。

【0082】

また、図10(b)のように、下層コイル8を下部磁極先端部23と下部磁極後端部24の間にある下部磁極後端部24を周回する如く配置し、上層コイル8'を上部磁極先端層17と上部磁極後端層18の間にある上部磁極後端層18を周回するごとく構成しても良い。但し、図10(a)の構成よりは、図2の構成が、上層コイル8'のみをコイル絶縁層10の中に収容すれば良いので上部磁極後端層18の高さを低減でき、その結果ヘッド全体の磁路長を低減出来るため、高周波における磁界立ち上がり速度を増加し、高周波での記録特性を向上出来るという利点がある。

## 【 0 0 8 3 】

また、図 1 0 ( b ) の構成では、コイル絶縁層 7 が不要となってヘッド全体の磁路長をさらに低減できるという特徴がある。また、前記の実施例においては、コイルを上層、下層の 2 層とする構成を示したが、1 層もしくは 4 層以上としても本発明の効果は同様である。

## 【 0 0 8 4 】

前記の実施例において本発明の薄膜磁気ヘッドの下部磁極先端部および上部磁極先端層に使用する磁性材料として  $\text{CoNiFe}$  膜を記載したが、飽和磁束密度が高い軟磁性材料であればこれに限らず使用できる。例えば、 $B_s = 1.6 \sim 1.7 \text{ T}$  の  $46\text{Ni}-\text{Fe}$  膜、 $B_s = 1.8 \sim 2.4 \text{ T}$  の  $\text{CoNiFe}$  膜、 $\text{Co}-\text{Fe}$  膜等が挙げられる。

## 【 0 0 8 5 】

またメッキ膜のみでなく、 $\text{CoNiFe}$  膜、 $\text{Co}-\text{Fe}$  膜、 $\text{Co}-\text{Fe}-\text{N}$  膜、 $\text{Fe}-\text{Ta}-\text{N}$  膜等のスパッタ膜も使用できる。本発明の薄膜磁気ヘッドの磁界強度は上部磁極先端層および下部磁極先端部に使用する磁性材料の飽和磁束密度によって大きく影響を受けるので、上部磁極先端層および下部磁極先端部に使用する磁性材料の飽和磁束密度を少なくとも  $1.6 \text{ T}$  以上とする必要がある。さらに好ましくは  $1.8 \text{ T}$  以上とすることが望ましい。

## 【 0 0 8 6 】

本発明の薄膜磁気ヘッドの下部磁極および上部磁極上層に使用する磁性材料として  $46\text{Ni}-\text{Fe}$  膜を記載したが、飽和磁束密度が高い軟磁性材料であればこれに限らず使用できる。 $B_s = 1.6 \sim 1.7 \text{ T}$  の  $46\text{Ni}-\text{Fe}$  膜、 $B_s \sim 1 \text{ T}$  の  $82\text{Ni}-\text{Fe}$  膜等のメッキ膜の他に、 $B_s = 1.4 \sim 1.6 \text{ T}$  の  $\text{Fe}-\text{Ta}-\text{N}$  膜、 $\text{Fe}-\text{Ta}-\text{C}$  膜等の微結晶スパッタ膜あるいは  $B_s = 1 \sim 1.6 \text{ T}$  の  $\text{Co}-\text{Zr}$  膜、 $\text{Co}-\text{Ta}-\text{Zr}$  膜、 $\text{Co}-\text{Nb}-\text{Zr}$  膜などの非晶質スパッタ膜等も使用できる。もちろん、前記の上部磁極先端層および下部磁極先端部用の材料を用いてもよい。

## 【 0 0 8 7 】

記録磁界強度を高くするために、記録ギャップと相対向する上部磁極先端層お

よび下部磁極先端部には、少なくとも下部磁極主層あるいは上部磁極上層と同等かそれ以上の飽和磁束密度を有する磁性材料を用いる。また、下部磁極先端部あるいは上部磁極先端層の一方あるいは両方の記録ギャップに隣接する部分に高Bsの膜を使用し、記録ギャップと反対側の層にそれより低Bsの膜を使用した多層構造としても良い。

## 【 0 0 8 8 】

一方、上部磁極上層および下部磁極主層に用いる磁性材料は上部磁極先端層および下部磁極先端部に用いる磁性材料より飽和磁束密度は低くてよいが、渦電流を低減して高周波記録特性を向上するために、比抵抗が高いほうが好ましい。例えば、本発明の実施例で上部磁極先端層および下部磁極先端部に用いたCoNiFe膜は $17 \sim 20 \mu\Omega\text{cm}$ の比抵抗を有するが、上部磁極上層および下部磁極主層に用いた46Ni-Fe膜は $45 \sim 55 \mu\Omega\text{cm}$ の高い比抵抗を有する。この高い比抵抗は幅が広くて渦電流効果の影響を受けやすい上部磁極上層および下部磁極主層の渦電流を低減し、高周波の磁界の立ち上がり速度を増加して高周波記録特性を向上する上で効果がある。従って、上部磁極上層および下部磁極主層に用いる磁性材料は $45 \mu\Omega\text{cm}$ 以上の比抵抗を有することが望ましい。

## 【 0 0 8 9 】

本発明の薄膜磁気ヘッドは下部磁極先端部および下部磁極後端部を下部磁極主層上に形成する場合、基本的に下部磁極上にフォトリジストを塗布し、下部磁極先端部および下部磁極後端部となるべき形状のマスクを用いて露光した後、下部磁極先端部および下部磁極後端部となるべき形状のレジストを現像によって除去し、その後下部磁極先端部および下部磁極後端部となるべき磁性材料をメッキ法によって形成する、いわゆるフレームメッキ法によって製造する。これにより、下部磁極先端部の形状を精度良く作成することができる。

## 【 0 0 9 0 】

一方、下部磁極主層を形成した後、下部磁極先端部となるべき部分をレジスト等により保護してコイル部分をイオンミリング等により掘り込む方法がある。しかし、本発明のように $0.3 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 未満の高さを有する下部磁極先端部を形成するにはミリングに多大の時間を要し、ミリングした材料が他の部分に再

付着する等の問題があるため本発明では用いない。従って、本発明においてフレームメッキ法により形成する下部磁極先端部のギャップ深さを規定する面は記録ギャップ面に対して $\pm 10$ 度程度の誤差以内でほぼ垂直に形成される。

#### 【0091】

本発明において、下部磁極先端部と下部磁極後端部は別種の磁性材料を用いて別々に作成することもできるが、基本的には製造工程短縮の観点から、下部磁極先端部と下部磁極後端部を同種の磁性材料を用いて、同時に作成する。

#### 【0092】

本発明の薄膜磁気ヘッドにおけるトラック幅精度向上の効果、および磁界強度増加の効果はいずれのトラック幅においても得られるが、特にトラック幅が $0.4\mu\text{m}$ 以下の狭トラック幅の領域になり、磁界強度およびトラック幅精度の低下が大きな問題になる領域において優れた効果を発揮する。また、記録媒体の保磁力が $3500\text{Oe}$ 以上の高保磁力媒体を使用する磁気ディスク装置に組み込まれる場合に優れた効果を発揮する。さらに、本発明の薄膜磁気ヘッドを使用した磁気ディスク装置を組み込んだ磁気ディスクアレイ装置において優れた効果を発揮する。

#### 【発明の効果】

上記に記載のように、本発明の薄膜磁気ヘッドにおいて、下部磁極主層上に下部磁極先端部を設け、さらにヘッド各部の形状寸法を適正に選ぶことによりトラック幅精度が高く、記録磁界強度の高い薄膜磁気ヘッドを提供することができる。また、下部磁極先端部に上部磁極先端層の幅より広い幅を有する突起段差部を設けることにより、オフトラック位置での不要な媒体面内磁界を低減することができる。本発明の薄膜磁気ヘッドを搭載した磁気ディスク装置および磁気ディスクアレイ装置は $279\text{kA/m}$  ( $3500\text{Oe}$ ) 以上の保磁力を有する媒体と組み合わせることにより優れた性能を有する磁気ディスク装置および磁気ディスクアレイ装置を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明の薄膜磁気ヘッドの斜視図である。



【図 2】

本発明の薄膜磁気ヘッドの断面図である。

【図 3】

従来の薄膜磁気ヘッドの一例を示す断面図である。

【図 4】

従来の薄膜磁気ヘッドの他の一例を示す断面図である。

【図 5】

本発明の薄膜磁気ヘッドの下部主層上の下部磁極先端部の形状を示す斜視図である。

【図 6】

本発明の薄膜磁気ヘッドの上部磁極先端層の形状を示す平面図である。

【図 7】

本発明の薄膜磁気ヘッドの他の実施例の下部磁極主層上の下部磁極先端部に設けた突起段差部の形状を上部磁極先端部の形状とともに示す斜視図である。

【図 8】

本発明の薄膜磁気ヘッドの他の実施例の下部磁極主層上の下部磁極先端部に設けた突起段差部の形状を上部磁極先端部の形状とともに示す斜視図である。

【図 9】

本発明の薄膜磁気ヘッドの他の実施例の断面図である。

【図 1 0】

本発明の薄膜磁気ヘッドの他の実施例の断面図である。

【図 1 1】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{x\max}$ と下部磁極先端部の高さ $L_{p2}$ との関係を示す図である。

【図 1 2】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{x\max}$ と下部磁極先端部のトラック幅方向の幅 $L_{p2w}$ との関係を示す図である。

【図 1 3】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{x\max}$ とギャップ深さ $G_d$ との関係を示

す図である。

【図 1 4】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ とトリム深さとの関係を示す図である。

【図 1 5】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ とテーパ角、すなわち、下部磁極先端部上端面の傾斜角 $\alpha$ との関係を示す図である。

【図 1 6】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と上部磁極先端層の磁極広がり位置 $L_y$ との関係を示す図である。

【図 1 7】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と上部磁極先端層の磁極開き角 $\theta$ との関係を示す図である。

【図 1 8】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と上部磁極先端層の厚さ $U_{p1t}$ との関係を示す図である。

【図 1 9】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と上部磁極先端層の記録ギャップ側の高 $B_s$ 層の厚さとの関係を示す図である。

【図 2 0】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と浮上面より上部磁極上層の先端までの距離 $U_{p2d}$ との関係を示す図である。

【図 2 1】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と上部磁極先端層と上部磁極上層の接触長さ $L_c$ との関係を示す図である。

【図 2 2】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{xmax}$ と上部磁極上層の厚さ $U_{p2t}$ との関係を示す図である。

【図 2 3】

本発明の薄膜磁気ヘッドの媒体面内磁界 $H_{xz}$ の分布を示す図である。

【図 2 4】

本発明の薄膜磁気ヘッドの媒体面内磁界 $H_{xz}$ の他の一例の分布を示す図である。

【図 2 5】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{x\max}$ と上部磁極先端層の磁極広がり位置、すなわち磁極絞り位置との関係を突起段差部のある場合と無い場合を比較して示す図である。

【図 2 6】

本発明の薄膜ヘッドの上部磁極先端層の磁極広がり位置 $L_y$ とオフトラック位置での媒体面内磁界 $H_{xz\max}$ の関係を示す図である。

【図 2 7】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{x\max}$ と下部磁極先端部上の突起段差部の幅 $S_{tw}$ との関係を示す図である。

【図 2 8】

本発明の薄膜磁気ヘッドの下部磁極先端部上の突起段差部の幅 $S_{tw}$ とオフトラック位置での媒体面内磁界 $H_{xz\max}$ の関係を示す図である。

【図 2 9】

本発明の薄膜磁気ヘッドの記録磁界強度 $H_{x\max}$ と下部磁極先端部上の突起段差部の開始位置 $S_{td}$ との関係を示す図である。

【図 3 0】

本発明の薄膜磁気ヘッドの下部磁極先端部上の突起段差部の開始位置 $S_{td}$ とオフトラック位置での媒体面内磁界 $H_{xz\max}$ の関係を示す図である。

【符号の説明】

1…基板、2…下部磁気シールド、3：再生ギャップ、4…再生素子、5…下部磁極主層、6…記録ギャップ層、7…コイル絶縁層、8…下層コイル、8'…上層コイル、9…上部磁極、10…保護層、11…上部磁極後端層、12…上部磁極先端層、13…浮上面、14…記録媒体、15…斜面、16…第1の非磁性絶縁層、17…上部磁極先端層、18…上部磁極後端層、19…第2の非磁性絶縁層

縁層、20…上部磁極上層、21…上部磁気シールド、22…セパレート層、23…下部磁極先端部、24…下部磁極後端部、25…非磁性絶縁層、26…上部磁極上層後端層、27…突起段差部、28…下部磁極先端部上端面、29…突起段差部、

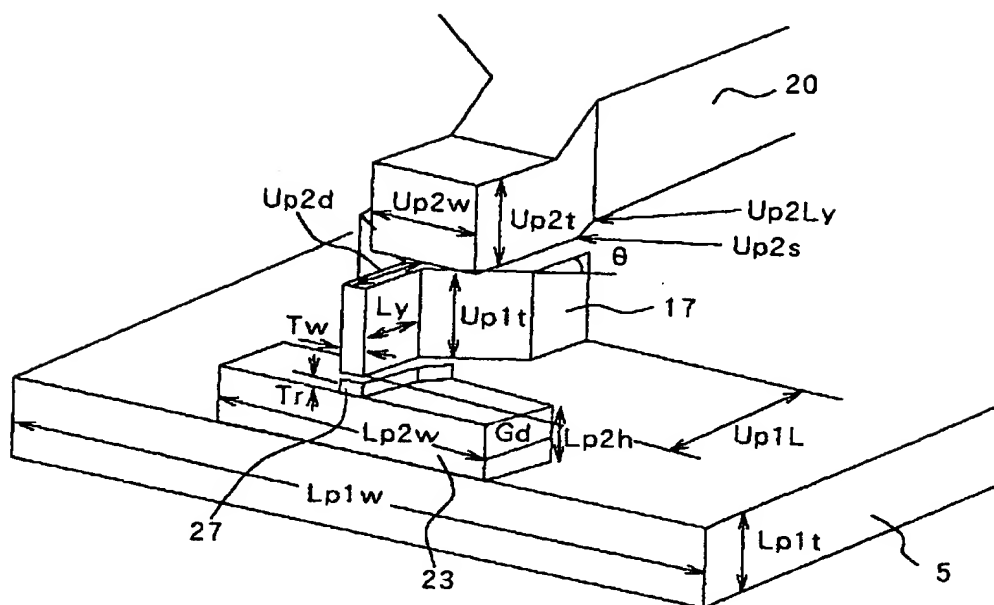
Tw…トラック幅、Gd…ギャップ深さ、Lp2w…下部磁極先端部の幅、Lp2h…下部磁極先端部の高さ、Tr…トリム深さ、Ly…上部磁極先端層の磁極広がり位置、

$\theta$ …上部磁極先端層の磁極開き角、Up1w…上部磁極先端層の最大幅、Up1L…上部磁極先端層の長さ、Up1t…上部磁極先端層の厚さ、Up1hbt…上部磁極先端層の記録ギャップ側の高Bs層の膜厚、Up2d…浮上面より上部磁極上層の先端までの距離、Up2fw…上部磁極上層先端の幅、Up2t…上部磁極上層の厚さ、Up2Ly…上部磁極上層の磁極広がり位置、 $\phi$ …上部磁極上層の開き角、Up2w…上部磁極上層の最大幅、Up2s…上部磁極上層の立ち上がり位置、Lc…上部磁極先端層と上部磁極上層の接触長さ、Lp1w…下部磁極主層の幅、Lp1t…下部磁極の厚さ、I1h…第1の非磁性絶縁層の厚さ、 $\alpha$ …下部磁極先端部上端面の傾斜角、Bc…バックコンタクト位置、Stw…下部磁極先端部上の段差部の幅、Std…下部磁極先端部上の突起段差部の開始位置と浮上面との距離。

【書類名】 図面

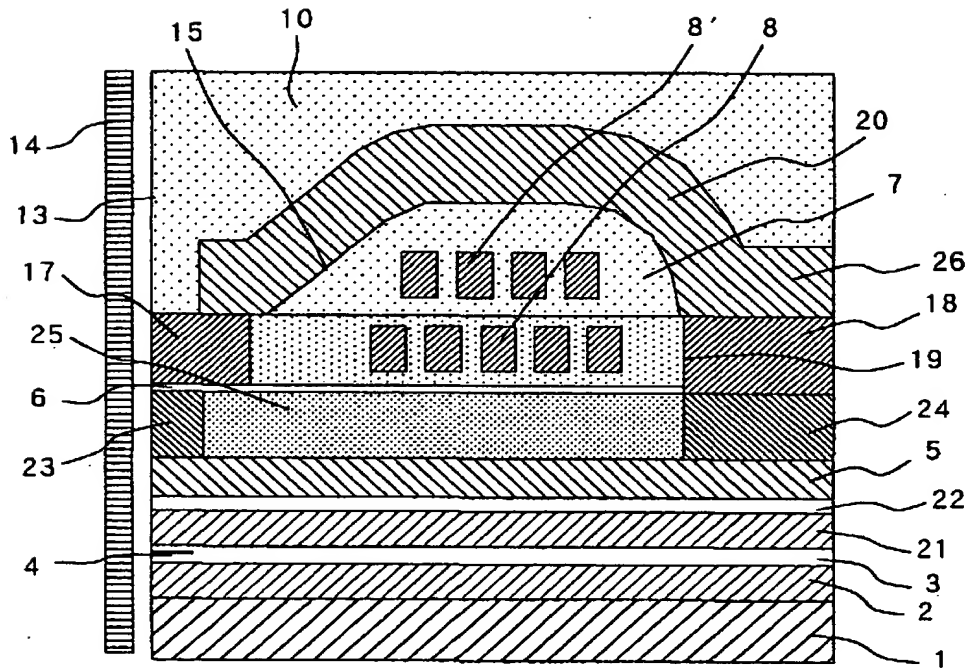
【図 1】

図 1



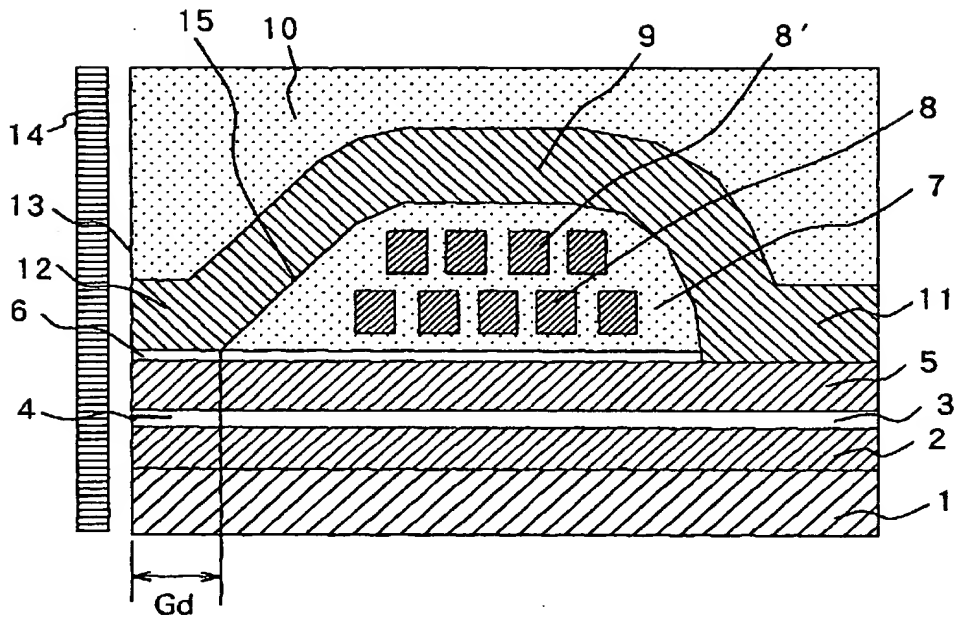
【図 2】

図 2



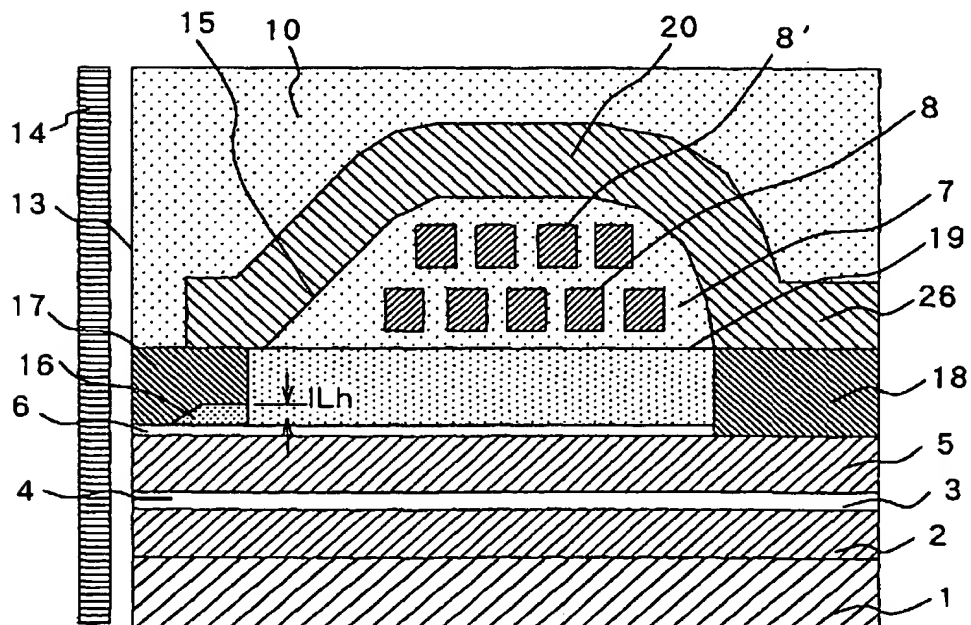
【図 3】

図 3



【図 4】

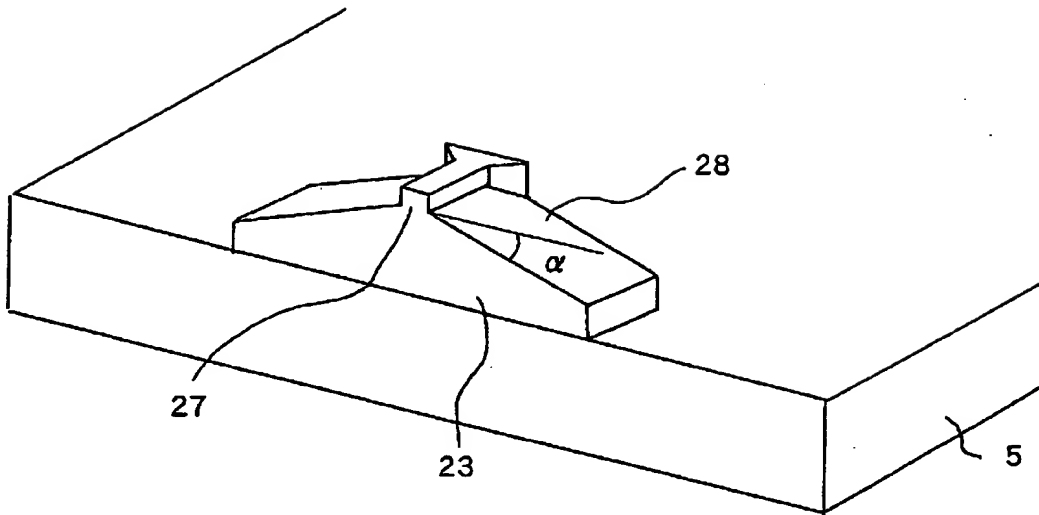
図 4



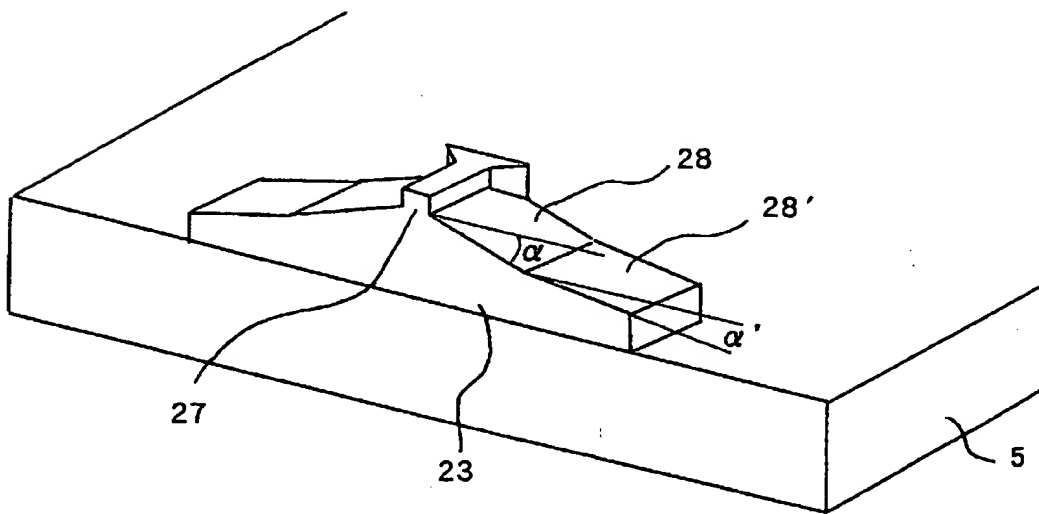
【図 5】

図 5

(a)



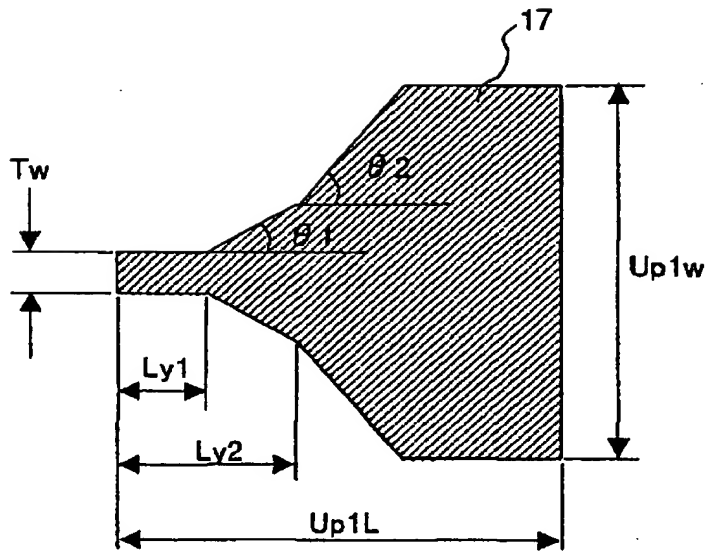
(b)





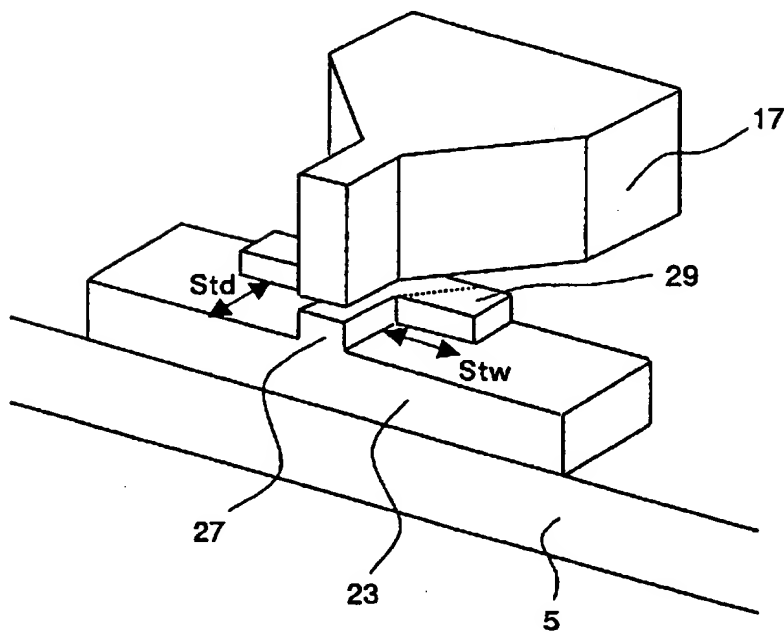
【図 6】

図 6



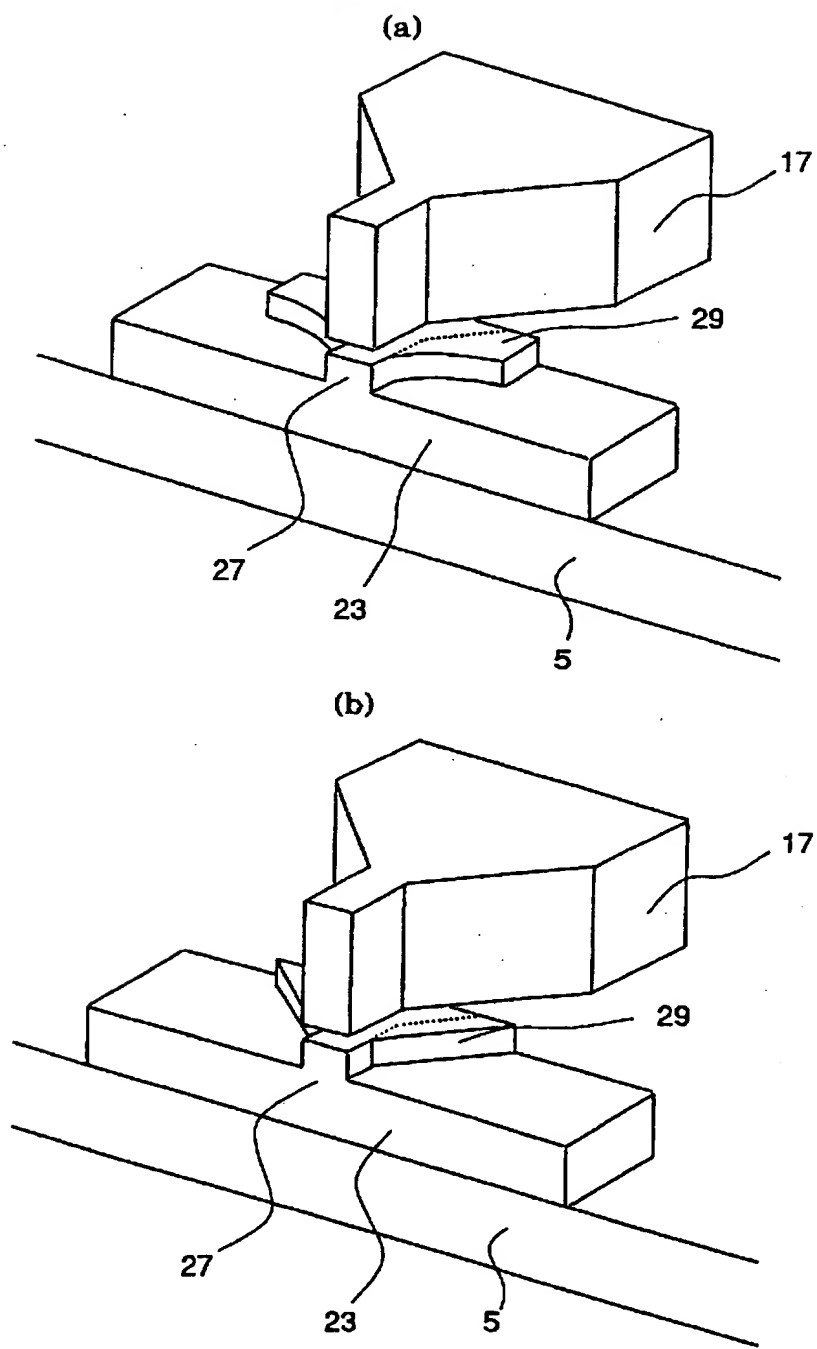
【図 7】

図 7



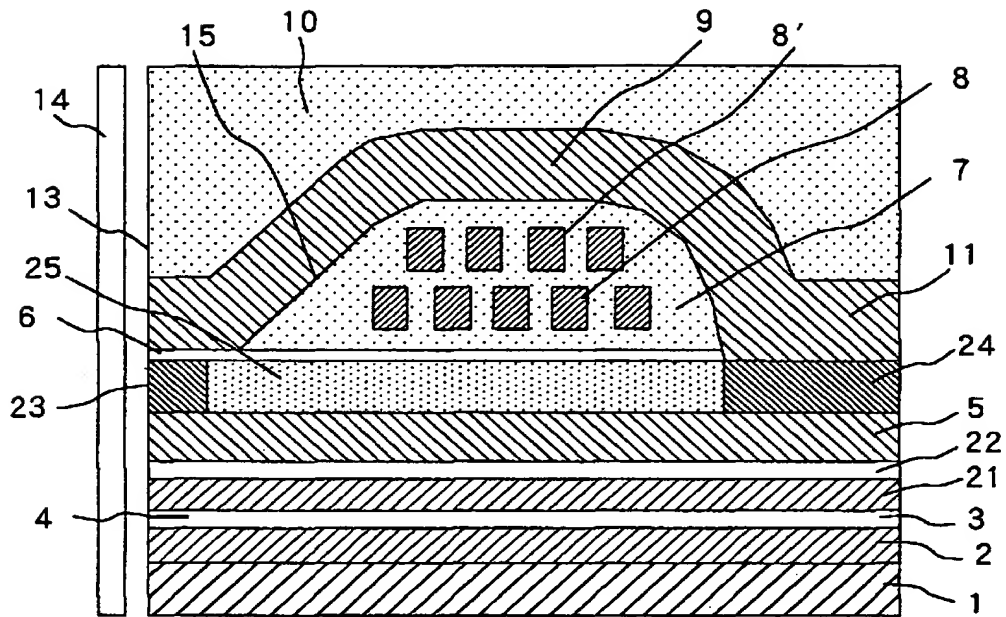
【図 8】

図 8



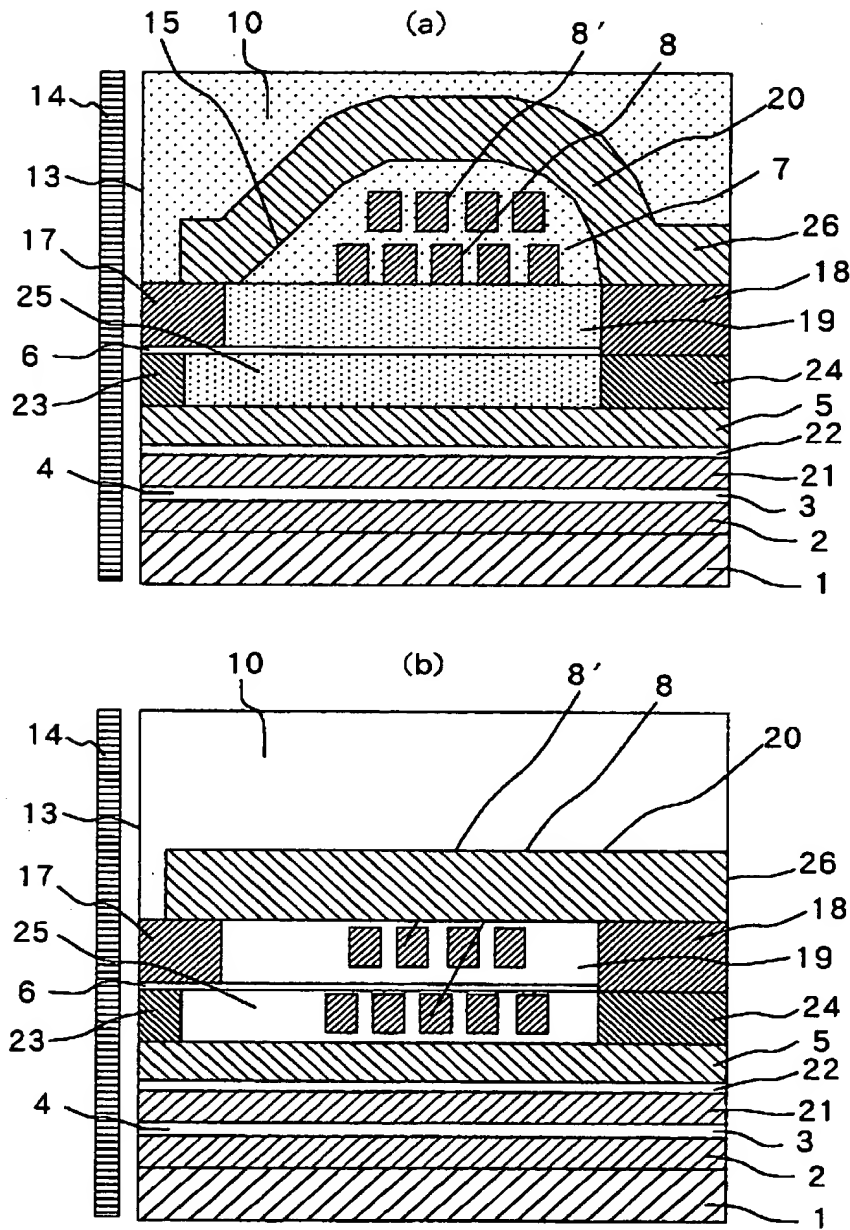
【図 9】

図 9



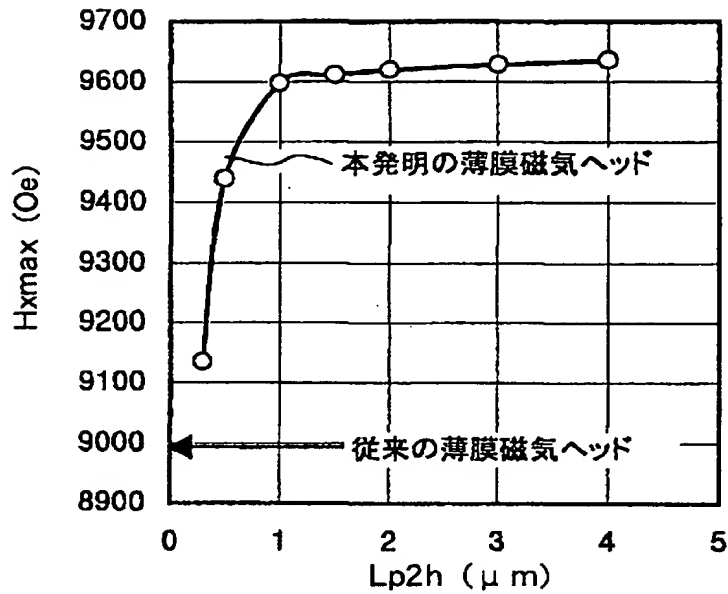
【図10】

図 10



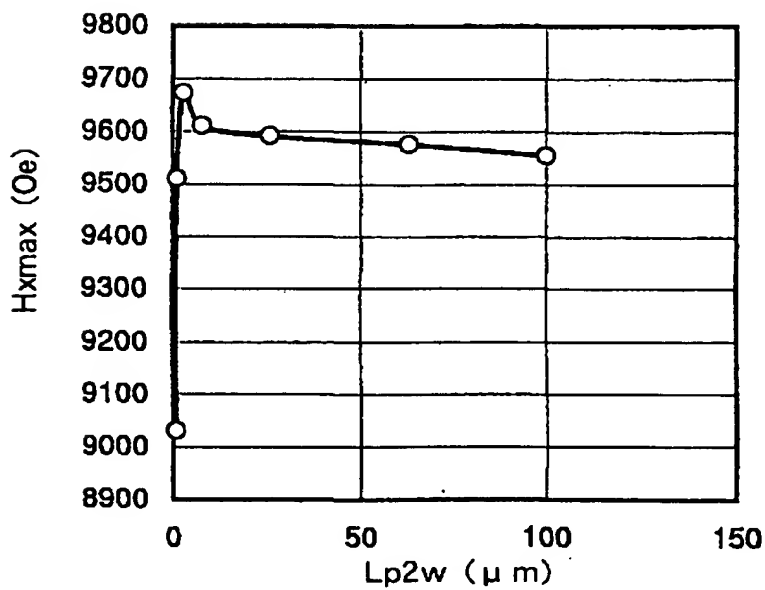
【図 1 1】

図 11



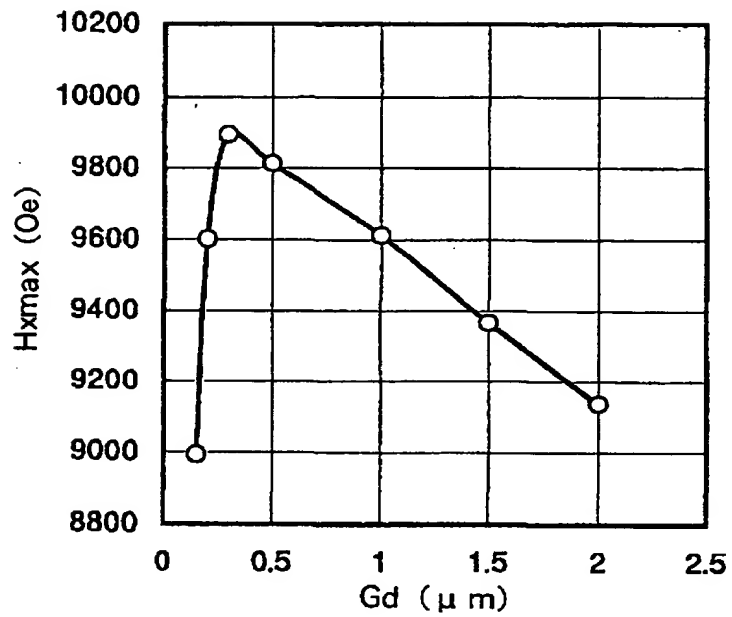
【図 1 2】

図 12



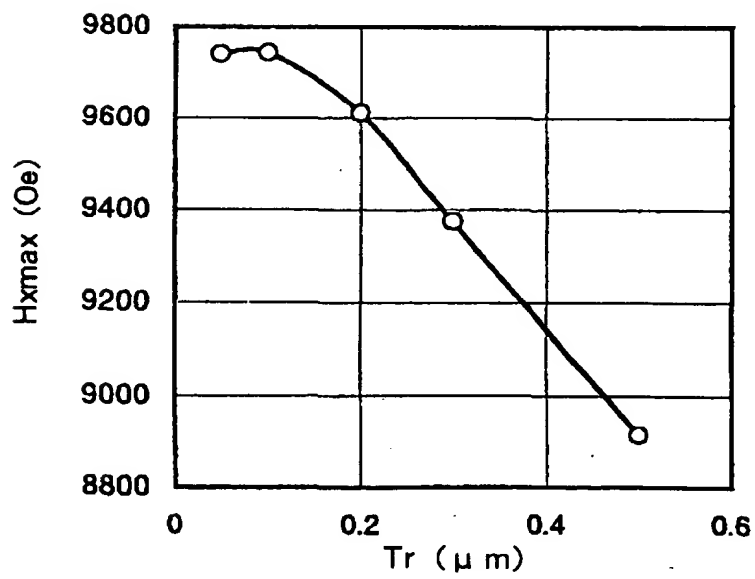
【図 1 3】

図 13



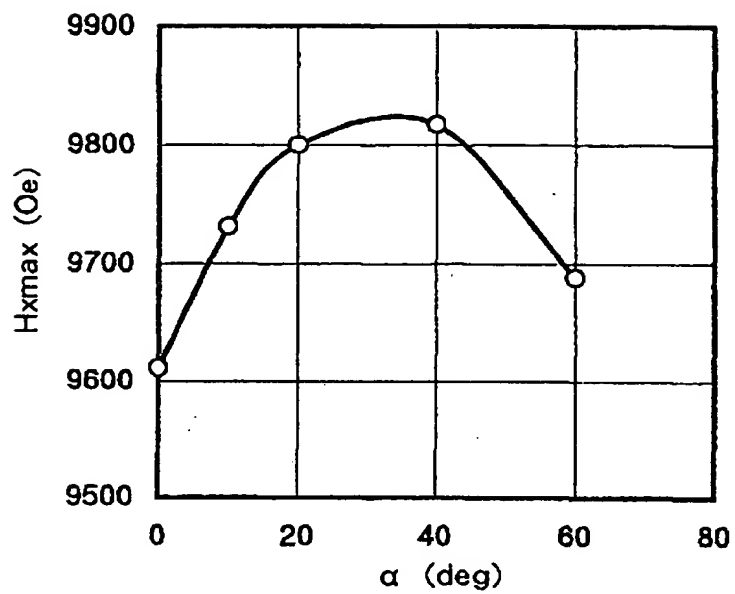
【図 1 4】

図 14



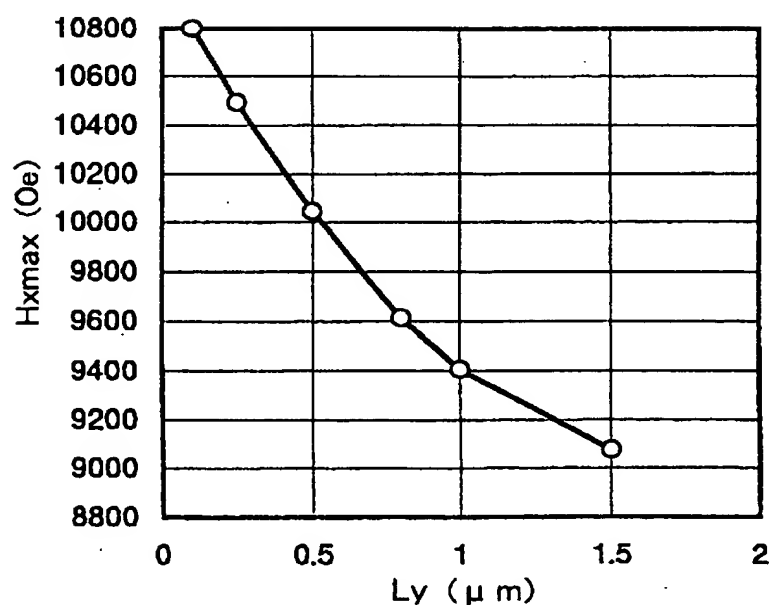
【図 15】

図 15



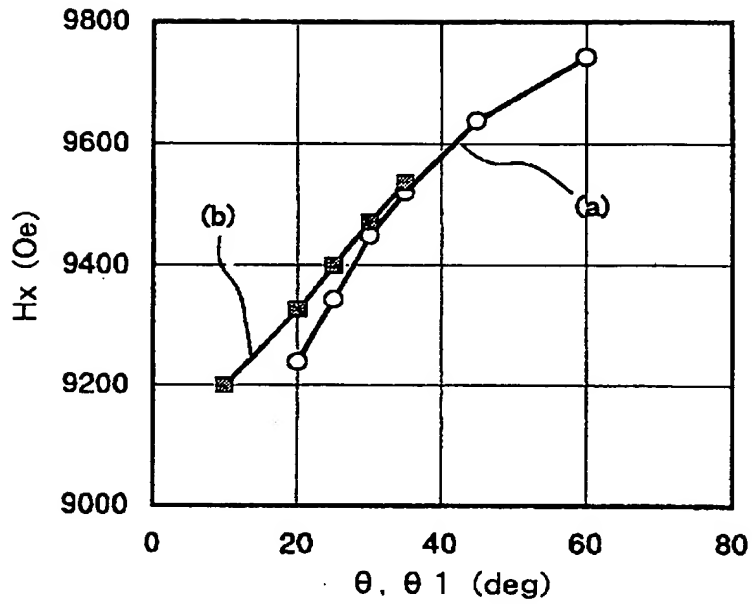
【図 16】

図 16



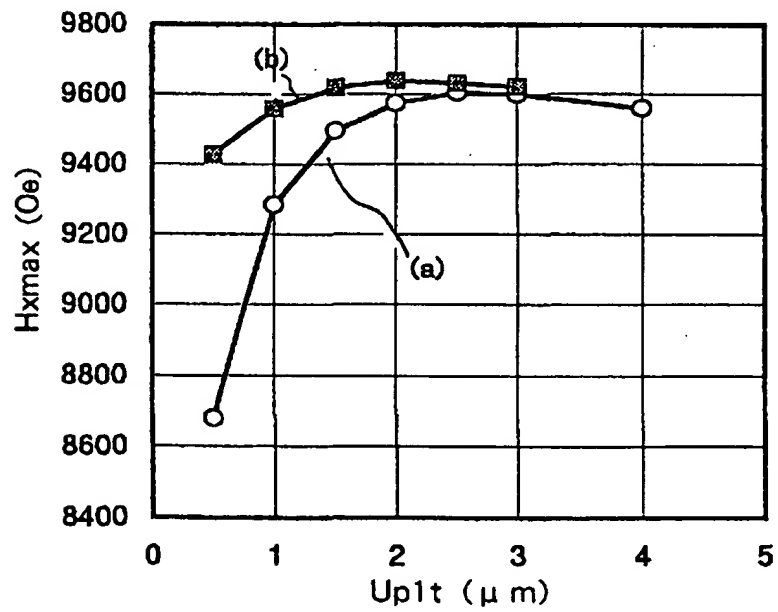
【図 1 7】

図 17



【図 1 8】

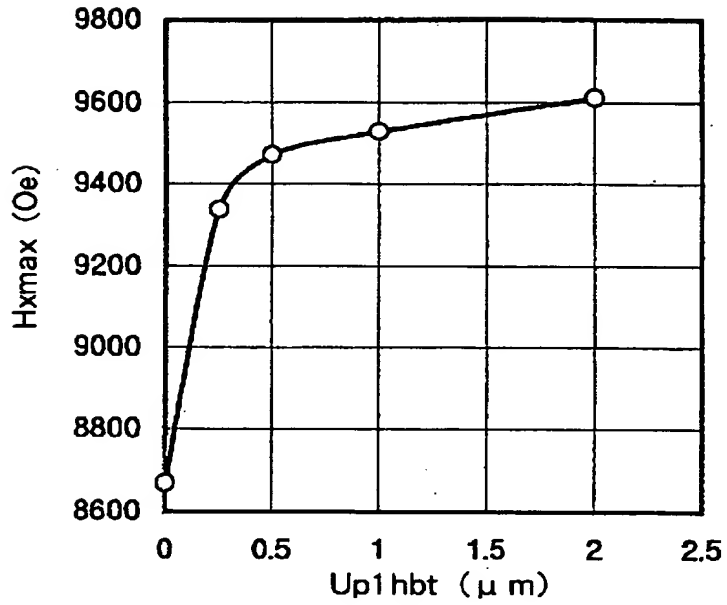
図 18





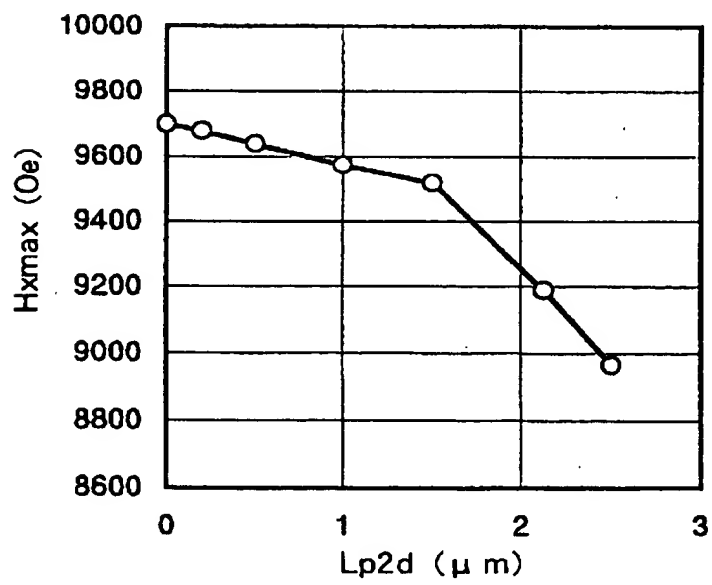
【図 1 9】

図 19



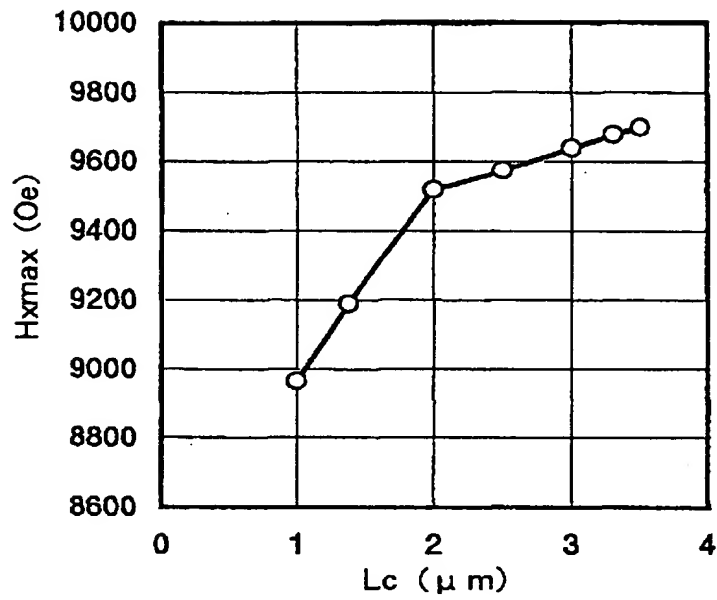
【図 2 0】

図 20



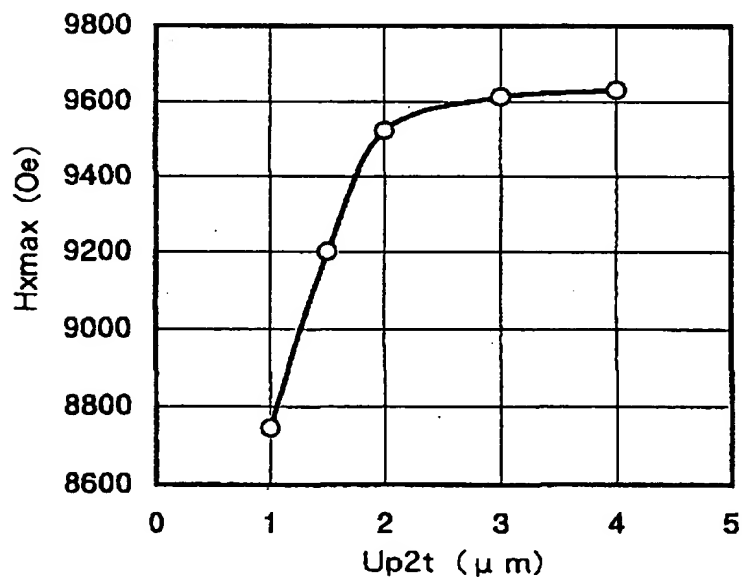
【図 2 1】

図 21



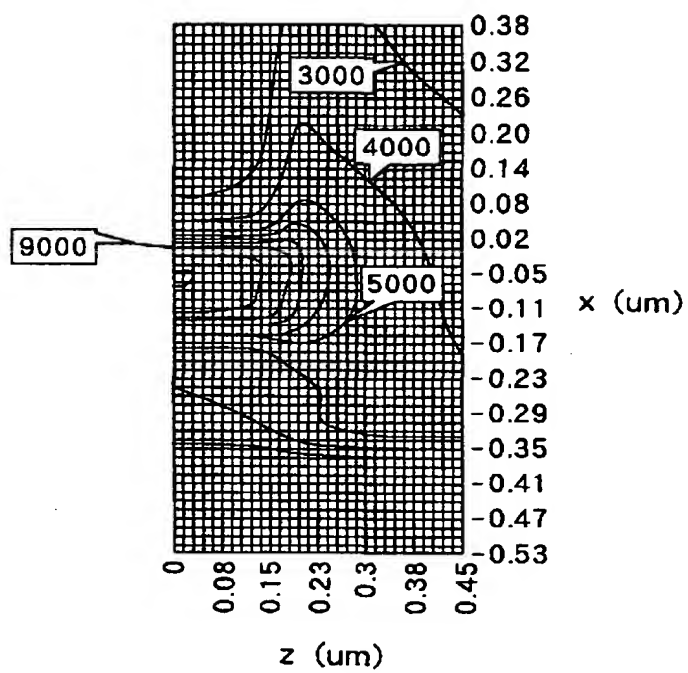
【図 2 2】

図 22



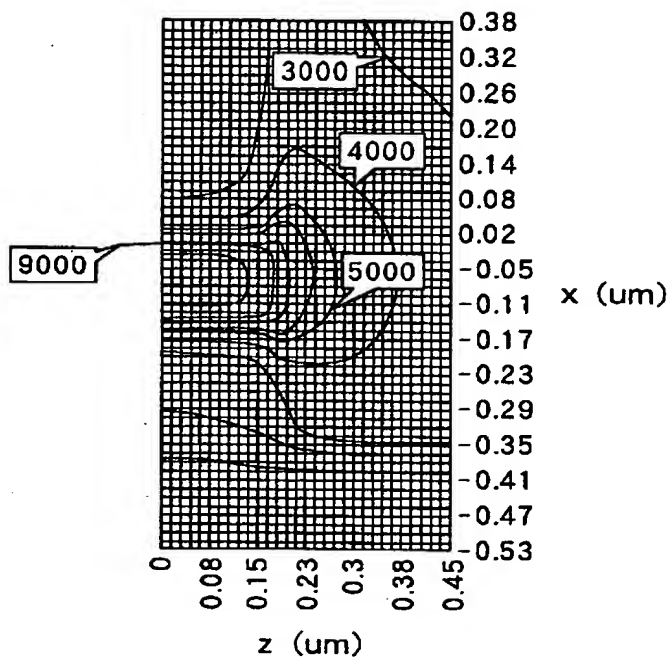
【図 2 3】

図 23



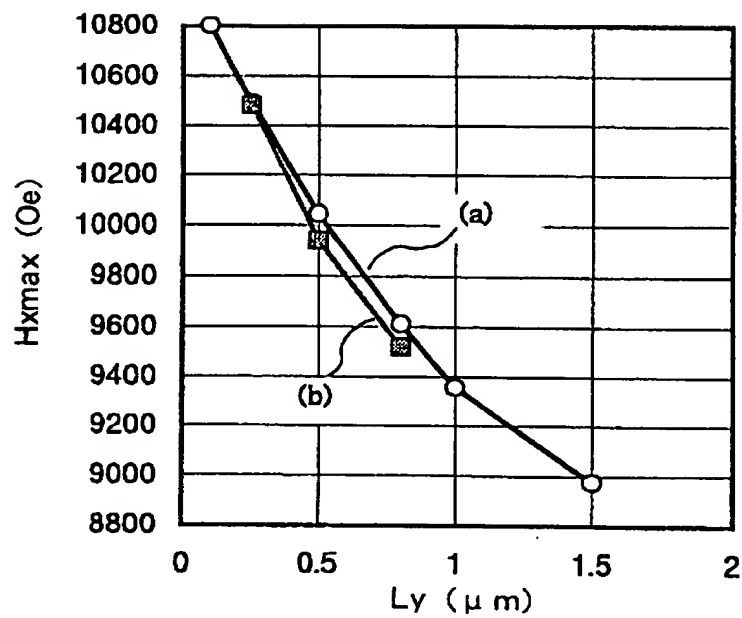
【図 2 4】

図 24



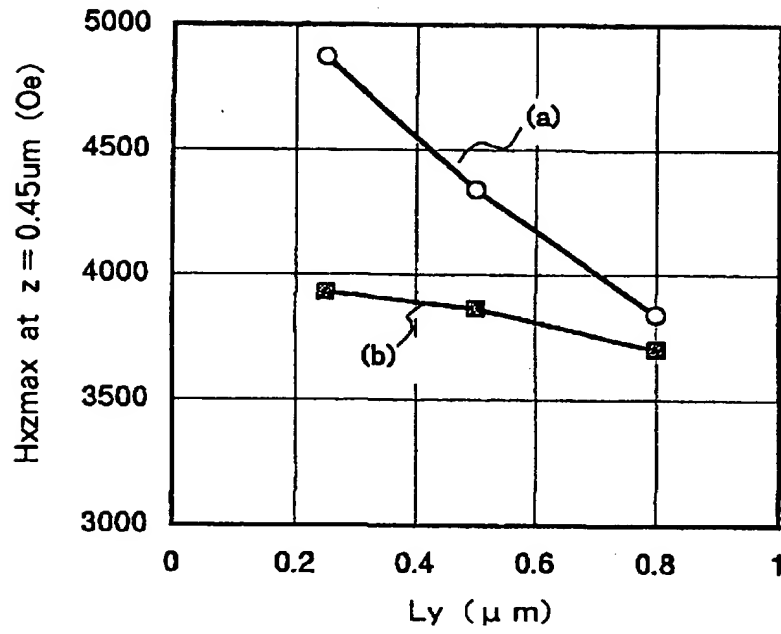
【図 2 5】

図 25



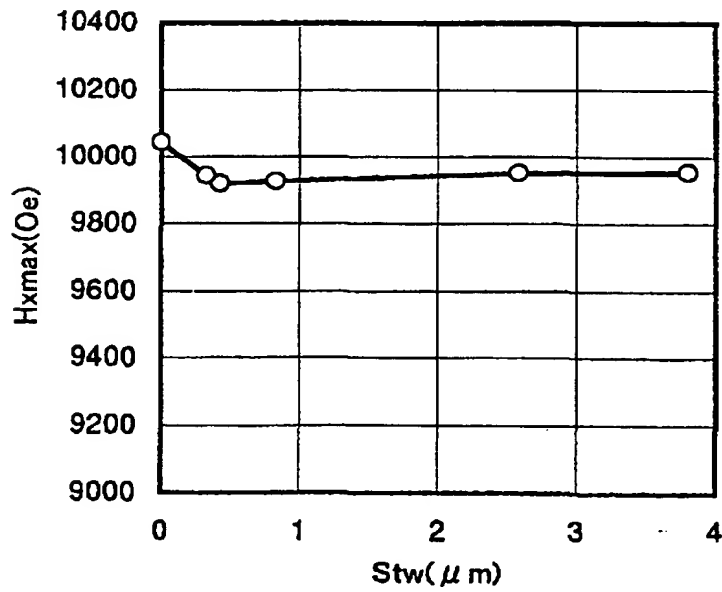
【図 2 6】

図 26



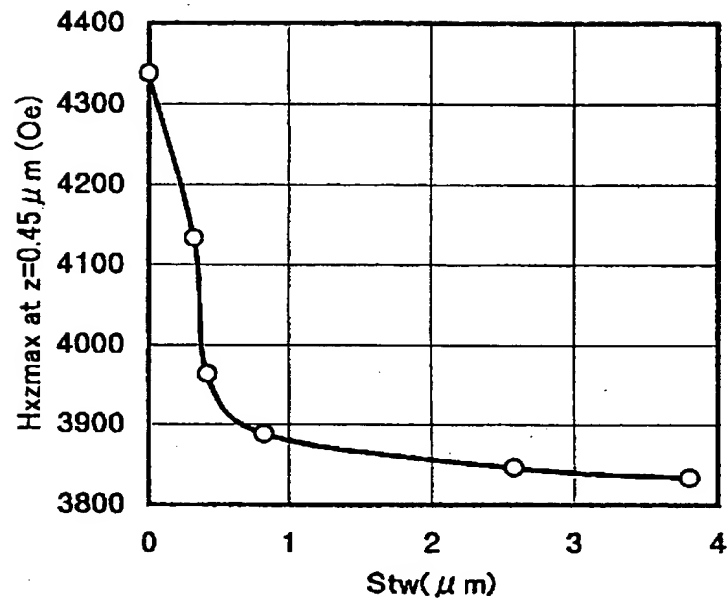
【図 2 7】

図 27



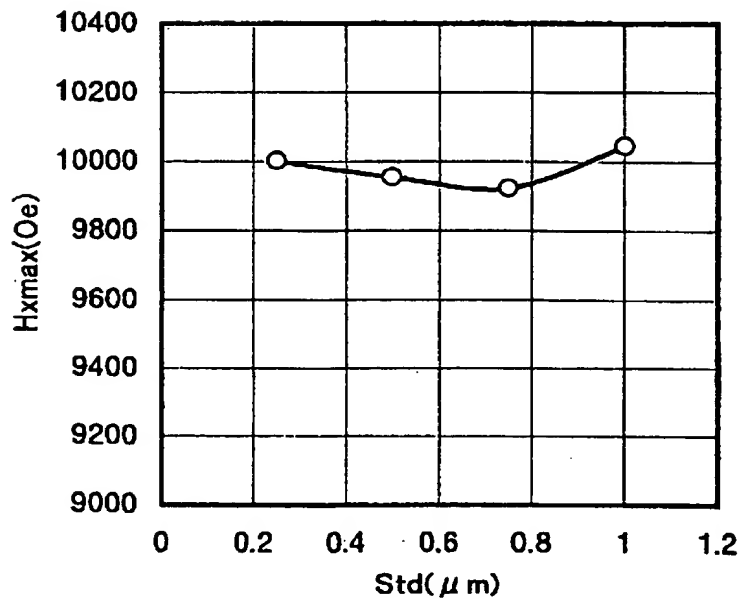
【図 2 8】

図 28



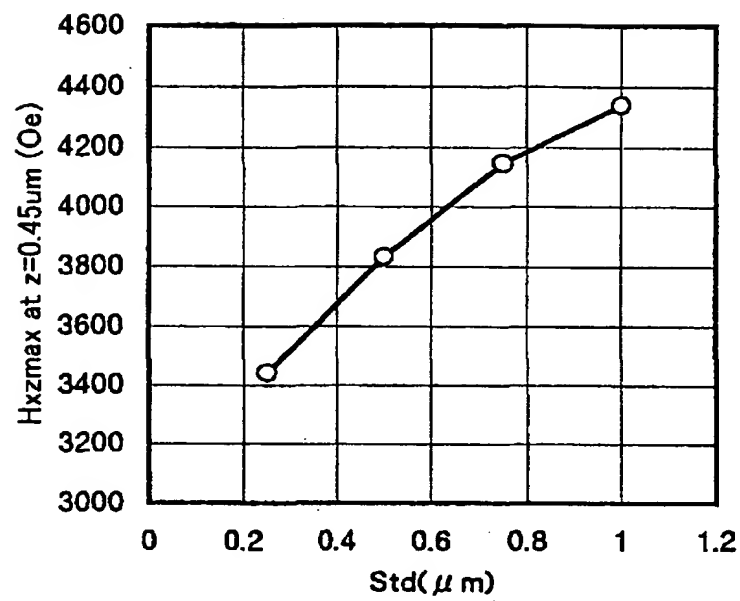
【図 2 9】

図 29



【図 3 0】

図 30



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高記録磁界を達成し、トラック幅精度が高く、かつオフトラック位置での不要な磁界を低減した薄膜磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 下部磁極主層上に下部磁極先端部を設けこの平坦面上に上部磁極先端部または上部磁極先端層を形成することによりトラック幅精度を向上する。下部磁極先端部高さを増加することにより磁界強度が増加する。また、下部磁極先端部の上に上部磁極先端層の幅より広い幅を有する突起段差を設けることによりオフトラック位置での不要な媒体面内磁界を低減する。ヘッド各部寸法を適正化することにより  $716 \text{ kA/m}$  ( $9000 \text{ Oe}$ ) を越える高記録磁界強度を実現する。

【選択図】 図1



特2001-224601

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所